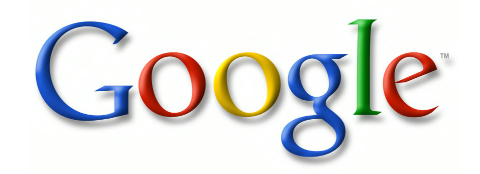
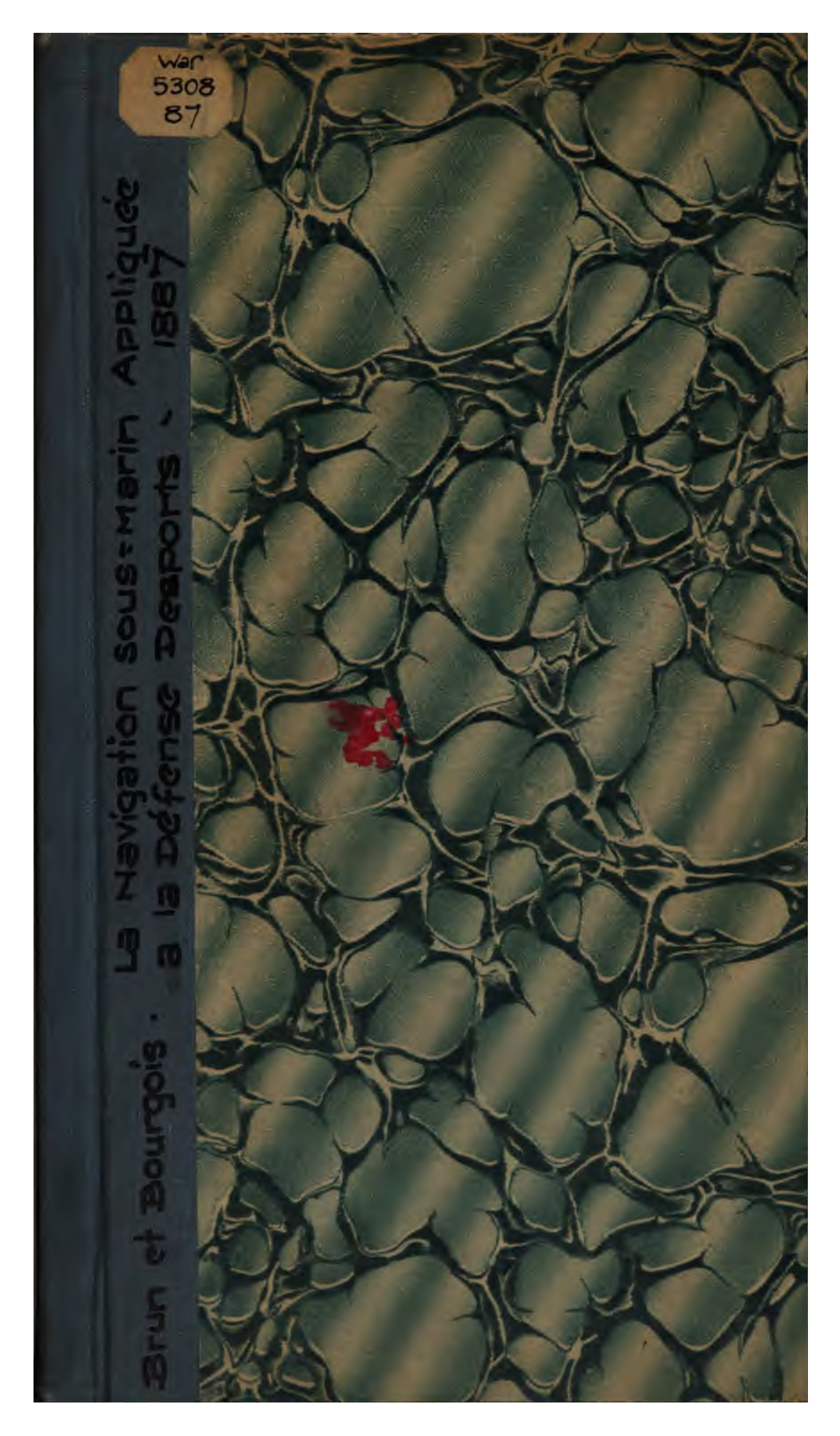



War
5308
87
La Navigation Sous-Marin Appliquée
Brun et Bourgois · a la Défense Desports · 1887

DE LA

NAVIGATION SOUS-MARINE

APPLIQUÉE A LA

DÉFENSE DES PORTS

Le **PLONGEUR**, bateau sous-marin

de MM. **BRUN**, Ingénieur de la marine, et **BOURGOIS**, Capitaine de vaisseau

---

Extrait de la **Revue maritime et coloniale.**



PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE DE L. BAUDOIN ET Cᵉ
IMPRIMEURS-ÉDITEURS
30, Rue et Passage Dauphine, 30

1887

DE LA

NAVIGATION SOUS-MARINE

APPLIQUÉE A LA

DÉFENSE DES PORTS

Extrait de la Revue maritime et coloniale



PARIS
LIBRAIRIE MILITAIRE DE L. BAUDOIN ET Ce
IMPRIMEURS-ÉDITEURS
30, Rue et Passage Dauphine, 30
—
1886

DE LA

NAVIGATION SOUS-MARINE

APPLIQUÉE A LA

DÉFENSE DES PORTS

Le mémoire dont nous donnons ici des extraits et qui, n'était pas destiné à la publicité, a été rédigé en 1858 par M. le capitaine de vaisseau Bourgois, adressé au Ministre de la marine, alors M. de Chasseloup-Laubat, et examiné par le Conseil des travaux. Il a été le point de départ de la construction du *Plongeur*[1] par M. Charles Brun, ingénieur de la marine, aujourd'hui sénateur, et des essais de navigation sous-marine tentés sur ce bâtiment, sous la direction commune de ces deux officiers supérieurs.

A cette époque, la question des torpilles naissait à peine, celle des torpilleurs n'était pas née. En présence des tentatives de navigation sous-marine qui se renouvellent aujourd'hui, nous avons pensé qu'il pouvait y avoir quelque utilité à reproduire, à titre de documents historiques, les parties les plus intéressantes de ce mémoire. Nous pourrons peut-être les faire suivre prochainement de la description du *Plongeur* et de la relation de ses expériences.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA NAVIGATION SOUS-MARINE ET LES ESSAIS AUXQUELS CETTE NAVIGATION A DONNÉ LIEU.

. . . .

...Supposons un instant le problème de la navigation sous-marine

[1] Le modèle du *Plongeur* se voit au Musée de marine, à Paris.

résolu, dans les limites les plus restreintes, c'est-à-dire qu'on ait trouvé un moyen sûr de naviguer entre deux eaux, pendant seulement quelques heures, avec une vitesse de quelques nœuds, et sans que l'air intérieur du bateau, isolé entièrement de l'atmosphère cessât d'être respirable. Supposons aussi qu'au lieu d'opérer la destruction de l'ennemi simplement par le choc, on ait trouvé le moyen de faire éclater, en l'abordant, un projectile creux, assez gros, dans la partie de sa muraille située au-dessous de la flottaison et même de la cuirasse dont il pourrait être revêtu.

N'est-il pas évident qu'on posséderait alors, pour la défense des ports et des côtes, un instrument des plus énergiques, n'exigeant plus qu'une masse peu considérable et, par conséquent, d'assez faibles dépenses, et présentant, par la limite même de la durée de son emploi, ce grand avantage d'être utile seulement à la puissance maritime condamnée, par l'infériorité numérique de ses flottes, à subir le plus souvent les agressions de son adversaire.

Si, en effet, de tels engins pouvaient être construits et manœuvrés avec précision, les bâtiments qui s'approcheraient de nos ports pour les bombarder se verraient exposés à recevoir inopinément le choc de ces bateaux sous-marins qui les contraindraient à se retirer du feu, s'ils ne les coulaient sur-le-champ.

On doit reconnaître, à la vérité, que toutes les tentatives faites jusqu'ici pour tirer quelque parti de la navigation sous-marine, au point de vue de la destruction des bâtiments ennemis, ont échoué misérablement. Mais si l'on étudie ces différentes tentatives, on reconnaît aisément que les difficultés de ce genre de navigation tiennent moins à des questions de principe qu'à des points de détail que le progrès des arts mécaniques permet de résoudre aujourd'hui d'une manière satisfaisante.

Il ne faut pas oublier qu'un quart de siècle s'est écoulé entre les premiers essais de Jouffroy, de Fulton, et le succès définitif de leurs idées.

L'hélice de Paucton, de Dallery, de Delisle, etc., n'a fait marcher l'*Archimède* et le *Francis Ogden* que longtemps après les propositions ou les écrits de ces auteurs ou de ces inventeurs.

Il ne suffit pas, en effet, pour le succès d'une invention, qu'elle s'appuie sur des principes et sur des lois naturelles d'une vérité incontestable.

Il faut encore que les arts mécaniques aient atteint un degré de perfection qui rende aisément praticable l'application de ces principes et de ces lois. Le temps nous paraît venu où la navigation sous-marine, objet jusqu'ici de tentatives, souvent mal dirigées et toujours infructueuses, peut réaliser une partie des espérances qu'elle avait fait concevoir à ses inventeurs.

Pour le démontrer, nous jetterons d'abord un rapide coup d'œil sur les propositions et les essais qui la concernent : nous ferons ressortir ce qu'il y a eu parfois d'heureux et ce qui serait encore applicable dans ces propositions et ces essais, et nous chercherons à remplacer par des solutions meilleures celles dont l'expérience a révélé l'impossibilité ou l'insuccès.

Dans un intéressant mémoire, inséré aux *Annales maritimes* de 1823, M. le capitaine de frégate Montgéry a donné un historique assez complet de la navigation sous-marine, depuis les temps les plus reculés jusqu'à l'époque de son mémoire.

Nous ne ferons donc que rappeler ici les principales tentatives qu'il mentionne, en écartant toutefois celles qui ont eu seulement pour objet de travailler sous l'eau en un point déterminé, sans moyens de locomotion, et qui, pour cette raison, sortent des limites de notre sujet.

Le premier bateau sous-marin dont la navigation paraisse bien authentique a été construit à Londres, sous le règne de Jacques Ier, par le Hollandais Drebbel.

En 1634, le père Mersenne a établi dans un écrit publié en France, les principales conditions de la navigation sous-marine, au moins comme on pouvait la pratiquer alors.

Il recommandait la forme de poisson et l'emploi de tôles de cuivre pour la construction des bâteaux sous-marins ; l'usage de canons tirant sous l'eau pour leur armement ; l'emploi de manches en cuir, flottantes par une extrémité, pour établir la communication avec l'air atmosphérique ; l'établissement de roues ou de rames, garnies de cuir imperméable, pour la locomotion, etc.

En 1653, un Français construisit à Rotterdam un navire assez grand, destiné à naviguer à fleur d'eau, ayant sa surface supérieure blindée et en talus, pour faire ricocher les boulets, et sa coque traversée, dans le sens de la longueur, par un système de poutres formant *éperon* à l'avant et à l'arrière. Ce bateau devait se mouvoir au

moyen d'une roue centrale; mais il ne paraît pas qu'il ait jamais navigué.

Le premier essai bien sérieux de navigation sous-marine, dans le but de détruire des bâtiments ennemis, est dû à l'Américain Bushnell, qui, pendant la guerre de l'indépendance, s'appliqua à rechercher les moyens de couler ou de détruire avec des bateaux sous-marins, des pétards, etc., les vaisseaux anglais mouillés sur les côtes et aux embouchures des rivières de l'Amérique du Nord.

Le bateau sous-marin monté par le sergent Lee, dans une entreprise infructueuse tentée contre l'un de ces vaisseaux, était de fort petite dimension, manœuvré par un seul homme, au moyen de rames contournées en spirales (sortes de propulseurs hélicoïdes), destinées à produire, soit le mouvement de locomotion horizontale, soit, conjointement avec l'admission ou l'expulsion de l'eau ambiante, le mouvement vertical d'immersion ou d'ascension.

L'œuvre de destruction consistait à attacher un pétard à la carène de l'ennemi; mais cette opération devant se faire de l'intérieur du bateau, en passant les mains, pour agir, dans des poches ou sortes de gants en cuir; on comprend que les difficultés dont elle était accompagnée l'aient rendue impossible.

Guidé peut-être par les essais infructueux de Bushnell, Fulton ne dédaigna pas d'appliquer son génie à la construction de bateaux sous-marins, d'abord en Amérique, puis au Havre, où il essaya, en 1801, son *Nautilus*[1].

Ce bateau avait une voilure pour naviguer à fleur d'eau, des avirons articulés pour marcher entre deux eaux aussi bien qu'à fleur d'eau, enfin un globe de cuivre renfermant de l'air condensé pour la respiration.

Cette première application de l'air comprimé à la navigation sous-marine mérite d'être signalée, parce qu'elle contient en germe les progrès de l'avenir. Rien n'indique qu'un autre l'ait essayée avant Fulton, il ne paraît pas, néanmoins, que le *Nautilus* ait donné un autre résultat que le parcours de quelques kilomètres avec une médiocre vitesse.

[1] On sait que ce nom est celui d'un mollusque dont la curieuse organisation a pu donner à l'homme la première idée des procédés de navigation sous-marine; de même que l'*argyronète* ou araignée aquatique a pu lui révéler le principe de la cloche à plongeur.

Fulton tourna alors ses idées vers l'application de la vapeur à la navigation, et ce fut seulement vers la fin de sa vie, en 1815, que la guerre ayant éclaté de nouveau entre son pays et l'Angleterre, il reprit ses projets de navigation sous-marine. Le *Mute*, qu'il construisit ou proposa de construire alors, ne devait cependant naviguer qu'à fleur d'eau; circonstance qui, jointe à sa faible vitesse, évaluée à seulement une lieue à l'heure, par M. Montgéry, devait le rendre peu redoutable à l'ennemi, malgré les *colombiades* (gros canons courts) dont il aurait été armé.

Quelques années après les premiers essais de Fulton au Havre, MM. Coessin frères entreprirent de les continuer, et l'on construisit dans ce port, par ordre de l'empereur Napoléon Ier et sur leurs plans, un bateau sous-marin auquel ils conservèrent le nom de *Nautilus* et dont la description détaillée se trouve dans le mémoire de M. Montgéry.

Cette construction n'avait d'ailleurs aucun caractère bien nouveau. L'air arrivait à l'intérieur du bateau par des tuyaux en cuir terminés par un flotteur, et cette installation faillit causer la perte de l'équipage et du bateau, dans une circonstance où l'immersion avait eu lieu, par mégarde, à une profondeur plus grande que la longueur des tuyaux.

Malgré l'intérêt témoigné par l'empereur et les éloges accordés par l'Institut au bateau et aux expériences de MM. Coessin, leur système défectueux au point de vue de l'alimentation d'air, comme au point de vue de la marche, qu'ils obtenaient avec des rames, ne réussit pas à donner une solution satisfaisante du problème de la navigation sous-marine. Il n'offrait d'ailleurs aucun moyen de destruction dont on pût faire usage avec précision et sécurité.

La paix, qui survint quelques années après les essais de MM. Coessin, diminua beaucoup l'intérêt qui s'était attaché aux tentatives de ce genre. Cependant le capitaine américain Johnson conçut, dit-on, le hardi projet d'aller délivrer l'empereur Napoléon à Sainte-Hélène, au moyen d'un bateau sous-marin à hélice. La mort de l'empereur aurait fait avorter cette entreprise, dont la réalisation, à cette époque, n'eût pas été exempte de grandes difficultés matérielles.

Quelques années plus tard, le même Johnson offrit aux Cortès espagnoles son bateau sous-marin, pour détruire les vaisseaux fran-

çais devant Cadix; mais la révolution espagnole succomba avant qu'il fût permis au capitaine américain de réaliser ses offres.

C'est vers cette époque, en 1823, que M. le capitaine de frégate Montgéry, après avoir fait l'historique des tentatives antérieures de navigation sous-marine, proposa lui-même un plan de bateau sous-marin, au moyen duquel il se faisait fort de détruire au besoin celui du capitaine Johnson.

L'*Invisible*, tel était le nom donné par M. Montgéry à son bateau, devait être construit en fer, muni d'une mâture à charnière, d'un gréement volant et de voiles légères, pour naviguer à fleur d'eau; le tout se ramassant, au moment de plonger, dans des coursives disposées sur le tillac.

Le mode de locomotion adopté par M. Montgéry était on ne peut plus défectueux et compliqué. Il consistait à employer, comme force motrice, l'expansion des gaz produits par l'inflammation de la poudre; à appliquer cette force motrice alternativement sur chacune des faces des pistons d'une machine ordinaire, et à opérer la propulsion par le mouvement alternatif de rotation d'un prisme triangulaire vertical autour de la verticale menée par le milieu de l'une de ses faces.

Ce prisme, appelé *martenote*, du nom de l'inventeur de ce singulier mode de propulsion, devait être construit en tôle et creux. On l'aurait installé à l'arrière de l'étambot, au lieu du gouvernail ordinaire, remplacé par deux gouvernails latéraux. Un troisième gouvernail, à axe horizontal, devait servir à régler la profondeur d'immersion.

Trois pales tournantes, articulées de manière à prendre les obliquités convenables pour la marche, mises en mouvement par une machine à vapeur pendant la navigation à fleur d'eau, et par l'équipage virant au cabestan, pendant la navigation entre deux eaux, auraient imprimé le mouvement en arrière ou la vitesse giratoire impossibles à obtenir de l'effet de la *martenote*.

L'armement de l'*Invisible* aurait été composé de *colombiades* sous-marines, de *torpilles* ou d'autres moyens incendiaires. On aurait obtenu l'air nécessaire à la respiration soit d'un réservoir intérieur renfermant un approvisionnement de 15 ou 16 heures, soit au moyen de tuyaux mobiles, garnis de ventilateurs à leurs extrémités inférieures, et dont on aurait élevé les extrémités supérieures au-dessus de la surface de l'eau.

La complication de ces procédés et, particulièrement, la difficulté de faire usage de l'inflammation de la poudre comme force motrice devaient suffire pour éloigner d'expérimenter le système de M. Montgéry qui, en effet, ne fut jamais appliqué.

Depuis la guerre d'Espagne jusqu'à celle de Crimée, le petit nombre d'inventions ou de perfectionnements relatifs à des opérations sous-marines, qui virent le jour, n'eurent généralement pour objet que d'obtenir un meilleur service de la cloche à plongeur et du *scaphandre,* instruments connus des anciens depuis la plus haute antiquité.

Ainsi, en 1842, le général du génie anglais Paislay dirigea des travaux sous-marins dont l'objet était de relever les débris du vaisseau le *Royal-George,* coulé sur la rade de Spithead. Il se servit pour cela d'une cloche à plongeur, communiquant au moyen de tuyaux en caoutchouc, avec des réservoirs à air établis à bord de la frégate *Success.*

Dans l'une de ces expériences, le général Paislay et le docteur Payerne descendirent sur un fond de 26 mètres, après avoir fixé, sous la cloche, deux réservoirs pleins d'air comprimé à onze atmosphères, qui leur permirent de se passer du réservoir de la frégate.

Ce fut probablement là le point de départ de l'invention de M. Payerne qui, en 1843, produisit une cloche à plongeur munie d'un réservoir à air, manœuvrée et habitée sans qu'on eût recours à l'usage d'un réservoir d'air à la surface.

Vers l'année 1845, M. l'ingénieur des ponts et chaussées de la Gournerie perfectionna le système de cloche à plongeur proposé par Coulomb, en 1788, et l'appliqua avec succès aux travaux du port du Croisic.

A la même époque, M. Payerne faisait construire à Paris un bateau plongeur possédant, comme celui de M. de la Gournerie, un vestibule destiné à permettre aux ouvriers de pénétrer dans la chambre de travail sans la faire envahir par l'eau ambiante.

Ce bateau-plongeur, employé avec un certain succès à l'extraction de roches sous-marines, dans les ports de Brest et de Cherbourg, était remarquable encore par certaines dispositions bien entendues.

Au moyen d'une provision d'air comprimé, on y élevait la pression de l'air dans la chambre intérieure, de façon qu'elle excédât celle de l'atmosphère augmentée de la pression du liquide ambiant,

et l'on pouvait alors ouvrir une trappe au fond du bateau, pour communiquer avec le fond de la mer et y exécuter des travaux, sans que l'eau montât à l'intérieur de la chambre, comme dans la cloche à plongeur ordinaire.

M. Payerne, abordant aussi l'importante question de l'épuration de l'air, étudiée sans succès sous le premier empire par le savant Guyton de Morveau, en cherchait la solution tantôt dans le passage d'un courant d'eau artificiel auquel il attribuait la propriété d'entraîner les gaz délétères produits par la respiration, tantôt dans l'action d'un fort soufflet terminé en pomme d'arrosoir, pour diviser l'air à épurer, et plongeant dans une solution alcaline.

L'immersion et l'ascension du bateau de M. Payerne s'obtenaient, d'ailleurs, comme dans celui de Fulton, par le jeu de pompes introduisant ou rejetant l'eau suivant la manœuvre à faire.

M. Payerne avait bien songé aussi à douer son bateau de la faculté de locomotion; mais, dans l'état de paix où l'on se trouvait, au début de ses essais, il n'avait pas attaché d'importance aux expériences faites dans ce but. Il les avait même abandonnées à la suite d'un accident indépendant de son système.

D'ailleurs, il faut bien le dire, les procédés de M. Payerne, pour mouvoir horizontalement son bateau, offraient peu de chances de succès. Ils exigeaient trois chaudières à vapeur dont l'une, pour marcher à fleur d'eau, du système ordinaire, et les deux autres, pour naviguer entre deux eaux, disposées de façon à brûler, dans des foyers hermétiquement clos, un combustible renfermant lui-même l'oxygène nécessaire à sa combustion[1].

La vapeur produite par l'une quelconque de ces chaudières aurait fait tourner une hélice par l'intermédiaire d'une machine ordinaire, et les produits gazeux de la combustion se seraient échappés en soulevant un clapet destiné à empêcher l'introduction de l'eau de la mer.

Nous ne nous arrêterons pas à critiquer ce qu'il y a de vicieux dans un pareil système, dont l'application aurait fait courir des dangers d'asphyxie et d'immersion à l'équipage. L'auteur lui-même ne paraissait pas convaincu du succès de cette application, lorsqu'il demandait à la commission des ponts et chaussées chargée d'exa-

[1] Du coke mélangé d'azotate de soude ou de potasse, dans les premiers essais; plus tard, à ce qu'il paraît, un composé pyrotechnique.

miner son appareil le silence sur les moyens qu'il avait imaginés pour produire la vapeur dans un vase hermétiquement clos.

Et si la guerre de Crimée a engagé, comme il paraît, M. Payerne à renouveler sa proposition de locomotion sous-marine, l'insuccès de sa chaudière pyrotechnique, essayée en dernier lieu au Conservatoire des arts et métiers, doit faire penser que, au point de vue du moins de la locomotion, ses procédés les plus récents n'étaient pas plus heureux que ceux auxquels il avait songé d'abord.

S'il est vrai aussi que le gouvernement anglais ait consacré, comme l'écrit cet inventeur, une somme de 300,000 francs à des essais de son système de navigation sous-marine, on comprend asiément que leurs résultats n'aient pas été divulgués.

On lit encore dans une brochure de M. Payerne qu'un officier de la marine russe, M. Spiridonoff, après avoir étudié ses appareils sous-marins, a proposé au gouvernement du czar, pendant la guerre de Crimée, de faire marcher un bateau sous-marin au moyen d'une machine à air comprimé, placée dans ce bateau, et alimentée d'air par une pompe installée sur un bâtiment à flot et communiquant, par des tuyaux flexibles, avec la machine du bateau sous-marin.

L'organe de propulsion de ce bateau se composait de pistons fonctionnant dans des corps de pompe parallèles à la quille et installés de chaque côté du gouvernail, à l'arrière du bateau auquel le mouvement de va-et-vient de ces pistons devait communiquer la vitesse.

Mais l'obligation de rester en communication avec un bâtiment à flot entourait l'exécution de ce projet de grandes difficultés et limitait singulièrement, en tous cas, le rayon d'action du bateau. Aussi n'a-t-on pas entendu dire que l'idée de M. Spiridonoff, qui, cependant, contenait en germe une idée de progrès, ait jamais été appliquée.

Les opérations sous-marines des Russes, pendant la campagne de la Baltique, se sont bornées à semer de torpilles, dites *jacobites*, les abords de Cronstadt, et l'on sait que l'un de ces engins a éclaté sous la carène du vapeur qui portait dans une reconnaissance le pavillon de M. le vice-amiral Pénaud, sans cependant lui causer aucun dommage.

Quant à la nouvelle cloche hydraulique de M. Payerne, et au *Nautilus* américain qui a fait dernièrement son apparition dans la Seine,

ces appareils, dépourvus de moyens de locomotion horizontale, n'appartiennent pas à la classe de bateaux sous-marins qui fait l'objet exclusif de ce mémoire. — Le premier n'est qu'un perfectionnement du bateau-plongeur du même inventeur, dans lequel il a rendu très faciles les mouvements d'ascension et d'immersion ainsi que le travail latéral. — Le second, dont la manœuvre est aussi des plus aisées, se distingue essentiellement de la cloche hydraulique par son moindre volume, dû à l'absence de réservoir d'air, et, en revanche, par la nécessité où l'on se trouve de lui envoyer, au moyen de tuyaux flexibles, l'air comprimé d'un réservoir, établi sur un bateau à flot et alimenté par une pompe à vapeur.

Parvenu au terme de cet historique, nous allons maintenant exposer un ensemble de moyens sûrement praticables de mouvoir et de manœuvrer les bateaux sous-marins et de les employer à détruire les bâtiments ennemis qui s'approcheraient de nos ports pour les bloquer ou les attaquer.

EXPOSITION D'UN NOUVEAU SYSTÈME DE NAVIGATION ET DE GUERRE SOUS-MARINES.

Parmi les nombreux essais dont nous avons succinctement rendu compte, plusieurs avaient pour unique objet la navigation à fleur d'eau, mais il est clair que ce genre de navigation, s'il permet d'employer la machine à vapeur ordinaire et de rendre à peu près invulnérable la coque même du bateau, est loin d'atteindre, à d'autres points de vue, le but de son emploi.

Un bateau à fleur d'eau, surtout s'il marchait à la vapeur, serait facile en effet à apercevoir de loin, en plein jour, et, par conséquent, facile à éviter et même à détruire, s'il n'avait pas une masse considérable et une vitesse supérieure.

Or, pour repousser l'attaque d'une flotte contre un port, il faut être en mesure d'agir contre elle dès l'instant où ses navires prennent position.

Cette attaque suppose seulement des circonstances de temps et de mer assez favorables pour que l'artillerie des bâtiments ait un tir efficace. — Pour surprendre alors les navires agresseurs et pour éviter leurs coups, après les avoir frappés, il faut pouvoir naviguer sous l'eau à une profondeur qui dérobe à la vue. — Pour les frapper

sûrement et avec précision, il est indispensable de distinguer nettement les objets, et il faut rendre au bateau ses conditions de parfaite stabilité, ce qui exige son retour à fleur d'eau au moment où il se trouve dans le voisinage du bâtiment à aborder.

Ainsi entendu, le problème de la navigation sous-marine appliquée à la défense des ports comprend cinq questions principales:

1° Imprimer au bateau sous-marin la vitesse nécessaire pour se rendre dans le voisinage du bâtiment ennemi et pour l'aborder efficacement;

2° Fournir l'air nécessaire à la respiration de son équipage;

3° Faire descendre le bateau à la profondeur voulue, le faire remonter à la surface, enfin le maintenir à la profondeur et dans l'assiette jugées convenables, suivant les circonstances de l'opération;

4° Diriger sous l'eau, avec précision, le bateau sous-marin vers le navire à attaquer;

5° Détruire le bâtiment ennemi, ou l'obliger au moins à abandonner l'attaque en lui faisant de graves avaries.

Ces cinq parties du problème vont être séparément l'objet de notre examen.

1° *Locomotion.*

L'obligation de plonger au besoin à une certaine profondeur, et de ne rien laisser paraître qui décèle la présence du bateau sous-marin, nous fait repousser d'abord tout système de locomotion exigeant le maintien de la communication avec l'atmosphère et, par conséquent, l'emploi des chaudières à vapeur ordinaires dont la combustion s'alimente par un courant d'air traversant les foyers.

Pour le but particulier de l'attaque des bâtiments, le seul que nous ayons ici en vue, les appareils électro-magnétiques connus et la force musculaire de l'homme ne donneraient que des puissances et des vitesses insuffisantes[1].

Quant aux machines dans lesquelles la combustion s'opérerait en vase clos, celles proposées jusqu'à présent offrent des inconvénients

[1] Les progrès réalisés dans la construction des moteurs électro-dynamiques font penser, au contraire, que c'est à des moteurs de ce genre que doit être demandée, aujourd'hui en 1886, la solution du problème de la navigation sous-marine.

si graves qu'il ne saurait être sérieusement question d'en faire usage.

En général, il est de la plus haute importance d'éviter d'introduire à bord des vaisseaux sous-marins des substances produisant des gaz de nature à vicier l'air respirable. La perfection de la fabrication des vases qui les contiendraient n'affranchirait jamais totalement des fuites qui, dangereuses sur les bâtiments ordinaires où, par exemple, on emploie le chloroforme, le seraient bien davantage dans un milieu confiné, où, en peu de temps, l'air respirable pourrait être complètement vicié par l'accumulation des produits de la combustion.

Toute machine à feu nous paraît donc incompatible avec la sécurité de l'emploi des bateaux sous-marins. Il faut recourir dès lors à l'emmagasinement de la force motrice, opération facile à exécuter au port, à l'aide d'une machine à vapeur ordinaire, dont le travail accumulé dans la compression d'un ressort, se dépensera ensuite par le débandement de ce ressort pendant les quelques heures de navigation qui suffisent pour le but limité que nous nous proposons.

Reste à choisir le genre de ressort qui peut le mieux convenir à cet emmagasinement du travail moteur, eu égard aux conditions particulières du problème.

Le choix à cet égard ne saurait être douteux. S'il est très important de ne pas introduire à l'intérieur du bateau des gaz non respirables, rien, au contraire, ne peut être plus utile à un bateau sous-marin, privé depuis longtemps de communication avec l'atmosphère, qu'une provision considérable d'air comprimé qui peut, à la fois, jouer le rôle de ressort pour emmagasiner le travail moteur et servir à la respiration de l'équipage.

Quant au mode de propulsion, l'hélice qui jouit de la propriété de fonctionner complètement immergée, et dont l'action même n'est très efficace que lorsqu'elle est recouverte d'une couche d'eau d'une certaine épaisseur, est évidemment l'instrument le plus convenable que l'on puisse songer à employer.

Nous proposons donc de *faire mouvoir le bateau sous-marin au moyen d'une hélice, mue par une machine à air alimentée elle-même par des réservoirs renfermant de l'air comprimé à la plus haute pression compatible avec la sécurité.*

Cette machine, semblable aux machines ordinaires à haute pres-

sion, marcherait avec une détente variable suivant la pression initiale et laisserait, à fin de course, l'air détendu s'échapper immédiatement dans l'intérieur du bateau où il serait employé à la respiration de l'équipage. — La machine ferait fonctionner, en même temps que l'hélice, deux pompes destinées, l'une à expulser constamment une quantité d'air vicié égale à la quantité d'air pur introduite, l'autre à épuiser les eaux de la cale.

Hâtons-nous de dire que l'emploi des machines à air n'est pas une chose nouvelle. On a déjà tenté d'utiliser par leur moyen, à la locomotion sur les chemins de fer, les vents et les cours d'eau, forces perdues de la nature, en appliquant ces forces à des moulins faisant agir les pompes destinées à refouler l'air dans des réservoirs mobiles qu'on plaçait ensuite dans des locomotives sans chaudières ni *tenders*.

Au moment où nous écrivons, un mécanicien de Paris, M. Anjubault, construit, pour la Russie, plusieurs machines de locomotives marchant avec de l'air comprimé.

L'idée fondamentale de notre système de locomotion ne rencontrerait donc aucune difficulté dans son application, et nous sommes certains d'ailleurs que plusieurs fabricants accepteraient sans hésiter la tâche de construire des appareils à air comprimé, des réservoirs et des pompes destinées à remplir ces réservoirs d'air à une pression très élevée.

2° *Respiration.*

On sait que l'oxygène absorbé dans l'acte de la respiration est remplacé par une quantité presque équivalente de gaz acide carbonique expulsé par les poumons, et que ce gaz, joint aux matières organiques provenant de la respiration et de la transpiration, ne tarde pas à vicier l'air que l'on respire, si cet air, confiné dans un espace clos, n'est pas renouvelé.

Le séjour d'un certain nombre d'hommes sous l'eau a donc nécessairement une durée limitée, s'il n'est pris aucun moyen de purifier ou de renouveler l'air vicié par la respiration.

Bien que, au premier abord, il paraisse facile de faire absorber l'acide carbonique mélangé à l'air par de la potasse ou d'autres substances douées de la même propriété, et de restituer à cet air une quantité équivalente d'oxygène, en décomposant l'eau, par exemple,

au moyen de la pile électrique, il ne paraît pas que les procédés employés jusqu'ici dans le but d'épurer l'air aient eu un plein succès. Il faut l'attribuer, en partie, à la difficulté de se débarrasser des matières organiques dont il vient d'être question, et dont l'influence sur la santé de l'homme est plus nuisible encore que celle du gaz acide carbonique.

Quant au renouvellement de l'air, au moyen de tuyaux rigides ou flexibles, aboutissant, dans ce dernier cas, à un flotteur percé de trous, le grave accident arrivé aux frères Coessin dans le port du Havre, celui plus grave encore dont le docteur Petit a été victime à Saint-Valery-sur-Somme, où il expérimentait un bateau sous-marin, doivent faire repousser tout système d'alimentation d'air basé sur l'établissement de communications avec l'atmosphère.

Nous avons dit déjà que les conditions de locomotion auxquelles doit satisfaire notre bateau sont pareillement incompatibles avec l'établissement de communications, par des tuyaux flexibles, avec un réservoir à air condensé placé sur un tableau flottant, comme dans le cas du *Nautilus* américain et du bateau de M. Spiridonoff.

Il n'existe donc qu'un moyen d'assurer, sans danger, la respira tion de l'équipage d'un bateau sous-marin. Ce moyen, que Fulton paraît avoir employé le premier, consiste à embarquer une provision d'air condensé qui, lâché dans l'intérieur du bateau, vient prendre la place de l'air vicié par la respiration et expulsé, soit par une pompe pneumatique, soit même par un simple robinet, si la pression à l'intérieur du bateau est en excès sur la pression atmosphérique, augmentée du poids de la colonne liquide située au dessus du tuyau d'évacuation.

L'emploi de ce moyen est d'ailleurs la conséquence naturelle du système de locomotion que nous avons adopté.

Le même air condensé qui a imprimé la vitesse par sa détente dans les cylindres, évacué dans l'intérieur du bateau, après avoir été détendu jusqu'à la dernière limite, vient servir à la respiration de l'équipage, et l'on peut calculer avec précision le temps que durera l'approvisionnement de force motrice et d'air respirable.

3° *Immersion, ascension et direction dans le plan vertical.*

Le problème de l'immersion et de l'ascension des bateaux sous-

marins et des cloches hydrauliques est, depuis quelque temps déjà, résolu pratiquement, d'une manière suffisante, grâce aux efforts de MM. Bonet et Payerne qui ont beaucoup contribué, le premier par de généreux sacrifices, le second par d'utiles et persévérants travaux, à amener la question des appareils sous-marins au point où elle se trouve aujourd'hui.

Disons d'abord sur quel principe est fondée la solution qu'ils ont fait prévaloir.

La théorie nous enseigne qu'un corps plongé dans l'eau remonte à la surface lorsque son poids est inférieur à celui du liquide déplacé, et s'enfonce, au contraire, lorsque l'inégalité existe en sens inverse.

Pour produire l'immersion ou l'ascension, il suffit donc, si le bateau sous-marin est en équilibre par rapport aux forces verticales, d'établir, dans un sens ou dans l'autre, la plus légère inégalité entre son poids et la poussée verticale équivalente au poids du volume d'eau qu'il déplace; et le procédé le plus simple pour atteindre ce but consiste à introduire l'eau ambiante dans l'intérieur du bateau et à l'en expulser selon qu'on veut produire l'immersion ou l'ascension.

L'introduction de l'eau à l'intérieur d'un bateau sous-marin s'obtient aisément en ouvrant un robinet de communication avec le dehors et en laissant agir alors la pression de la colonne liquide extérieure, pourvu que cette pression excède celle de l'air à l'intérieur du bateau.

Cette dernière condition pourra toujours être remplie, à l'aide de deux robinets, l'un à la partie supérieure du bateau, pour laisser échapper l'air si sa pression est en excès, l'autre à la partie inférieure, pour laisser entrer le liquide en vertu de l'excès de pression qui tendra à devenir précisément égal à la pression d'une colonne liquide ayant pour hauteur la différence de hauteur des deux robinets.

Dans les premiers essais de navigation sous-marine, l'expulsion de l'eau s'obtenait au moyen de pompes manœuvrées à la main.

MM. Coessin employèrent dans le même but un fort soufflet refoulant l'air dans un compartiment d'où il chassait l'eau qui y était contenue. Mais on abandonna bientôt ces moyens pour un autre plus simple et plus énergique. On imagina de tirer parti de la provision

d'air condensé destinée à la respiration de l'équipage, pour opérer, par sa pression, l'expulsion de l'eau renfermée dans certains compartiments disposés à cet effet.

Les réservoirs qui renferment cet air comprimé sont tantôt isolés complètement, comme dans le bateau plongeur et la cloche hydraulique de M. Payerne, et tantôt alimentés par un réservoir établi sur un bâtiment à flot, comme le *Nautilus* américain.

Nous avons dit déjà que le premier de ces deux systèmes est seul praticable sur un bateau sous-marin destiné à parcourir un espace assez étendu, comme dans le cas que nous envisageons ici. Voici maintenant comment on l'applique à la locomotion dans le sens vertical.

Que l'on suppose dans le bateau sous-marin un ou plusieurs compartiments pleins d'eau, communiquant, au moyen de robinets, à leur partie inférieure avec l'eau ambiante, et à leur partie supérieure, mais séparément, avec l'intérieur de la chambre du bateau et avec des réservoirs d'air comprimé.

La pression dans les réservoirs étant supposée en excès sur la pression de l'atmosphère augmentée de celle de la colonne liquide au-dessous des robinets de prise d'eau, il suffira, pour expulser l'air d'un compartiment, et pour alléger par suite le bateau, d'ouvrir les robinets de communication de ce compartiment avec le réservoir à air et avec l'eau ambiante.

L'air comprimé chassera alors à la mer l'eau de ce compartiment, et le bateau tendra à remonter dès que l'allégement aura rendu son poids inférieur à celui du volume d'eau déplacé.

S'agit-il, au contraire, d'opérer l'immersion, on mettra le compartiment à eau en communication, à sa partie supérieure avec la chambre intérieure du bateau, pour ramener la pression de l'air, dans ce compartiment, à une valeur peu différente de la pression normale à l'intérieur du bateau, c'est-à-dire d'une atmosphère[1].

On ouvrira ensuite le robinet inférieur qui fait communiquer le compartiment avec l'eau ambiante. Celle-ci s'introduira aussitôt en refoulant l'air du compartiment, dans la chambre intérieure, et le

[1] Cette condition peut toujours être remplie, si l'on est à fleur d'eau, en ouvrant à la partie supérieure de la chambre un robinet de communication avec l'atmosphère. Lorsqu'on est entre deux eaux, la pompe d'évacuation doit maintenir la pression dans l'intérieur du bateau à sa valeur normale.

mouvement de descente tendra à se produire dès l'instant où le poids du bateau dépassera celui du volume d'eau déplacé.

Si le compartiment avec lequel on opère a son centre de gravité sur la même verticale que le centre de gravité du bateau, celui-ci s'élèvera ou descendra parallèlement à lui-même. Il en sera de même si l'on agit sur deux compartiments situés aux deux extrémités, pourvu toutefois que les moments, par rapport au centre de gravité du bateau, des volumes d'eau introduits ou chassés à l'avant et à l'arrière soient égaux. Mais si l'on ne fait usage que d'un seul de ces compartiments, à l'avant et à l'arrière, et même si le centre de gravité du volume d'eau introduit ou expulsé est sur l'avant ou sur l'arrière de la verticale menée par le centre de gravité du bateau, non seulement celui-ci prendra un mouvement vertical de translation de haut en bas ou de bas en haut, suivant le cas, mais encore son centre de gravité se déplacera horizontalement par rapport au bateau lui-même, et il en résultera un changement dans son assiette, c'est-à-dire dans l'inclinaison de sa quille par rapport à l'horizon.

Il est évident que, dans tous les cas, l'immersion et l'ascension du bateau s'effectueront par ce moyen avec la plus grande facilité.

Le problème est moins aisé à résoudre lorsqu'on se propose de maintenir un bateau sous-marin à la même profondeur pendant sa navigation. Deux causes, en effet, tendent continuellement à faire varier la distance du bateau à la surface de la mer.

En premier lieu, comme on sait, la plus légère différence entre le poids du bateau lorsqu'il est entièrement plongé et le poids du liquide qu'il déplace, donne naissance à une force verticale qui, selon le cas, fait monter ou descendre le bateau jusqu'à ce qu'il arrive à une couche de liquide dont la densité ait une valeur qui rétablisse l'égalité entre le poids et la poussée verticale, et par suite l'équilibre.

L'eau étant peu compressible et sa densité ne variant que de 0.000046 pour un accroissement de pression d'une atmosphère, il s'ensuit que le mouvement ainsi déterminé doit généralement ne cesser qu'au fond ou à la surface de l'eau, à moins qu'on ne l'arrête en détruisant, par les moyens indiqués plus haut, l'inégalité de forces qui le produit.

Les formules de ce mouvement sont celles de la chute des corps dans un milieu résistant. Il arrive à l'uniformité lorsque la vitesse

augmente au point de donner à la résistance éprouvée par le bateau, dans son mouvement, une valeur précisément égale à la force motrice qui est ici la différence entre le poids du bateau et celui du volume d'eau déplacé.

On peut donc calculer aisément la vitesse maximum que prendra le bateau pour une force motrice donnée, en supposant connue la résistance opposée par le milieu un mouvement vertical du bateau.

Nous montrerons plus loin, dans une application particulière, que cette vitesse maximum est en réalité assez faible pour un bateau offrant une large section horizontale.

Il est facile, d'ailleurs, d'augmenter cette résistance, si cela paraît nécessaire, par l'addition à la carène de surfaces planes et horizontales, en forme d'ailerons. En tout état de choses, il est évident que si les moyens indiqués n'offrent pas la possibilité de maintenir exactement le bateau sous-marin à une profondeur d'immersion déterminée, on peut, du moins, en manœuvrant à propos les robinets qui servent à introduire et à expulser l'eau ambiante, maintenir les oscillations verticales entre des limites de profondeur peu étendues.

Une autre difficulté de la navigation sous-marine, au point de vue de la conservation de la profondeur d'immersion, tient aux changements dans l'assiette du bateau sous-marin, dus au déplacement des poids à l'intérieur, et desquels résultent des variations correspondantes dans la direction du mouvement par rapport à la verticale.

. . . .

Le produit $P \times OG$[1] est ce qu'on appelle le moment de la ***stabilité de poids*** dans la théorie du navire. Cette stabilité de poids est la seule que possèdent les corps complètement immergés, attendu que leur inclinaison n'apporte aucun changement à leur immersion.

Dans le projet de bateau sous-marin que nous avons particulièrement en vue, P est égal à environ 350,000 kilogrammes, et OG peut être évalué approximativement à $0^m,50$.

Si l'on suppose $P = 1500$ kilogrammes et $AG = 10$ mètres, on trouve $\text{tang } I = \frac{1500 \times 10}{350{,}000 \times 0{,}50} = 0{,}0857$, d'où $I = 4^\circ 54'$.

[1] P est le poids du navire, OG la distance du centre de gravité au centre de carène, AG la distance du centre de gravité à laquelle on a porté un poids de 1500 kilog., I l'angle de l'inclinaison produit par le déplacement de ce poids.

Ce déplacement d'un tonneau et demi, à 10 mètres sur l'avant ou sur l'arrière du centre de gravité, dépasse dans la construction que nous considérons tous les déplacements accidentels que l'on peut raisonnablement prévoir pendant la navigation entre deux eaux; et l'on voit qu'il ne produirait qu'une inclinaison modérée et sans aucun inconvénient, pourvu toutefois que le centre de gravité fût placé à $0^m,50$ au-dessous du centre de carène, comme nous l'avons admis.

Or c'est là une condition qu'il sera toujours facile de remplir, en plaçant du lest en fer dans les parties inférieures du bateau et en munissant celui-ci d'une quille en fer ayant de très fortes dimensions.

Il est à remarquer même que ces inclinaisons modérées de l'axe de figure et de la direction du mouvement de translation, en dessus et en dessous du plan horizontal, offrent un excellent moyen de faire varier la profondeur d'immersion, à peu près comme avec le gouvernail on fait varier le cap d'un navire.

Pour atteindre ce but, trois procédés s'offrent à nous, tous facilement praticables.

On peut établir à l'avant et à l'arrière du bateau des compartiments à eau installés, comme il a été dit, de façon à recevoir le liquide ambiant, ou à permettre son expulsion par l'effet de la pression de l'air des réservoirs.

En introduisant le liquide dans l'un de ces compartiments, on rendra le bateau plus lourd et, en même temps, on déplacera son centre de gravité, en le faisant marcher vers l'extrémité où se trouve le compartiment dont il s'agit. De sorte que si l'on remplit, par exemple, le compartiment de l'avant, le bateau s'enfoncera par l'effet de l'accroissement de son poids et par celui de l'inclinaison qu'il prendra sur l'avant, si toutefois on le suppose animé d'une certaine vitesse. Si l'on vide, au contraire, ce même compartiment, le bateau allégé remontera vers la surface par l'effet même de cet allégement et par celui de la pente en arrière qui résultera de la diminution de pesanteur de l'avant.

Le simple jeu des robinets du compartiment de l'avant, que nous pouvons appeler *compartiment régulateur,* suffit donc pour produire l'ascension ou l'immersion du bateau, avec une facilité d'autant plus grande qu'il est animé d'une plus grande vitesse.

Le seul inconvénient de ce mode d'opérer est la dépense d'air comprimé qu'il occasionne. Pour l'éviter, on peut recourir aux deux autres procédés que nous allons indiquer.

L'un consiste à établir, de l'avant à l'arrière, sur le plancher de la chambre intérieure du bateau, de petits rails sur lesquels on fera courir des chariots lesteurs d'un certain poids[1]. La position de ces chariots, par rapport au centre de gravité du bateau, réglera son assiette et, par suite, sa tendance à monter ou à descendre pendant la marche.

L'autre procédé, emprunté à des projets antérieurs de bateau sous-marin, donne la direction, au-dessus et au-dessous du plan horizontal, au moyen de gouvernails à axe horizontal, dont la position la plus favorable et la plus commode est à l'arrière et dans le prolongement des surfaces planes horizontales ou ailerons de l'arrière, dont nous avons déjà parlé.

Il est à remarquer, toutefois, que le moment de stabilité longitu dinale agit en sens opposé à l'action de ces gouvernails dès l'instant où, par leur effet, le centre de gravité du bateau s'écarte de la verticale menée par le centre de carène, et comme ces gouvernails n'ont d'action marquée sur l'assiette du bateau qu'autant que celui-ci est animé d'une certaine vitesse, il s'ensuit que leur efficacité est assez faible lorsqu'on les applique à de grandes masses mues avec une faible vitesse.

En résumé, le premier moyen de direction dans le plan vertical a l'inconvénient d'occasionner une certaine dépense d'air comprimé, mais il produit son effet aussi bien quand le bateau est stationnaire que lorsqu'il est en marche. Tous les bateaux sous-marins doivent donc être installés pour en faire usage. Les chariots lesteurs et les gouvernails à axe horizontal peuvent être utilement employés pendant la marche pour produire, sans dépense d'air comprimé, de légers changements dans la direction en hauteur et, par suite, dans la profondeur d'immersion, mais leur emploi n'est ni aussi indispensable ni aussi efficace.

Il est évident enfin que l'ensemble de ces moyens permet de diri-

[1] Ces chariots seraient en cuivre et lestés en plomb, afin d'éviter la perturbation des compas qui pourrait être la conséquence du déplacement de masses de fer à l'intérieur du bateau.

ger les bateaux sous-marins dans le plan vertical et de les maintenir, par conséquent, à la profondeur d'immersion voulue avec une précision qui, grâce à un peu d'habitude, ne le céderait guère à celle obtenue dans la direction des bâtiments flottants à l'aide du gouvernail ordinaire.

Il nous reste à parler de la mesure de l'inclinaison de l'axe du bateau et de la profondeur de son immersion.

Le *clinomètre* à mercure offre un moyen facile et assez exact de mesurer l'inclinaison. La mesure de la profondeur peut présenter de plus grandes difficultés.

Si l'on suppose le bateau sous-marin au repos à une certaine profondeur, la pression du liquide sur les parois de sa carène pourra donner la valeur exacte de sa distance à la surface, en comptant autant de fois $10^{m},30$ pour cette distance qu'il y a d'atmosphères, moins une, dans la pression.

Par conséquent, la profondeur d'immersion pourra se mesurer alors par les mêmes instruments qui servent à mesurer la pression de la vapeur dans les machines, par des manomètres à air comprimé, par exemple, et même par des manomètres métalliques.

Mais les indications de ces manomètres, supposés même établis sur les côtés du bateau, cesseront d'être rigoureusement exactes lorsque le bateau prendra une certaine vitesse de translation, car la vitesse relative du liquide ambiant exerce sur la pression que ce liquide fait éprouver à la surface latérale des corps plongés une influence applicable, sans que cependant la science ni l'expérience aient encore donné la loi de ces variations de la pression statique latérale en fonction de la vitesse.

Dubuat avait prétendu, à la vérité, que la pression statique sur les flancs d'un corps animé d'une certaine vitesse diminuait de toute la hauteur due à cette vitesse. Mais divers faits d'expérience semblent démontrer[1] l'inexactitude de ce principe et le peu d'influence de la vitesse, surtout quand elle est faible sur la pression latérale.

Nous pensons donc que si les indications des manomètres placés sur les flancs d'un bateau sous-marin pour mesurer sa profondeur d'immersion cessent d'être rigoureuses pendant la marche, elles

[1] *Mémoire sur la résistance de l'eau*, page 5. Dans le cas particulier qui nous occupe, l'erreur serait sans importance, attendu la faible valeur de la hauteur due à la vitesse par rapport à la profondeur d'immersion, pendant la marche entre deux eaux.

sont toujours, néanmoins, assez exactes pour faire connaître si le bateau s'élève ou descend et pour accuser, à un ou deux mètres près, la profondeur d'immersion. Or la navigation du bateau entre deux eaux n'exige pas une précision plus grande, et le mécanicien chargé de la manœuvre des robinets du compartiment régulateur (si c'est là le procédé employé) pourra toujours, en suivant des yeux les indications d'un manomètre en communication avec le liquide ambiant, sur l'une des faces latérales du bateau, régler l'ascension ou la descente du bateau et le maintenir à peu près à la profondeur fixée par le commandant.

4° *Direction dans le plan horizontal.*

Une des plus grandes difficultés de la navigation sous-marine est celle de diriger sa route dans un milieu si opaque, du moins dans les mers européennes, que les objets qui y sont plongés cessent d'être visibles à une distance de quelques mètres.

Mais cette difficulté, comme les autres, n'est pas insurmontable.

En effet, dans les opérations sous-marines que nous avons en vue, il y a deux modes distincts de navigation : l'un, sous l'eau, pour se transporter sans être vu dans le voisinage du bâtiment à attaquer ; l'autre, à fleur d'eau, pour exécuter avec précision cette attaque, dont le succès dépendra surtout de son imprévu.

Dans le premier cas, on marche sans apercevoir le but vers lequel on se dirige, mais on a dû, avant de sortir de la rade, en s'immergeant pour dérober sa présence à l'ennemi, prendre une connaissance exacte du relèvement et de la distance de celui-ci, apprécier l'effet actuel de la vitesse du courant, ou du bâtiment ennemi, si celui-ci n'est pas à l'ancre, et déduire de ces données la direction et la longueur du chemin que le bateau sous-marin devra parcourir pour se trouver à quelques encablures seulement du navire qu'il se propose d'attaquer.

Pour suivre la direction voulue, le bateau sous-marin se guidera sur des compas corrigés des influences de la machine et de la coque, comme ceux des bâtiments ordinaires en fer. Pour mesurer le chemin parcouru, il suffira d'observer sur un compteur le nombre de tours d'hélice depuis le départ, et, si l'on a eu soin de mesurer, par des expériences préalables, l'avance du bateau par tour d'hélice, on

obtiendra aisément la longueur du chemin parcouru en multipliant le nombre de tours d'hélice accomplis, depuis le départ, par la valeur de l'avance du bateau pendant un tour d'hélice.

Lorsqu'on aura ainsi effectué, dans une direction fixée à l'avance, un parcours déterminé qui aura conduit à proximité du navire ennemi, on remontera à la surface pour observer de nouveau l'horizon et reconnaître la position et l'allure de ce navire [1].

Si, le calcul ayant été exact, le bateau sous-marin surgit à quelques encablures du bâtiment qu'il doit attaquer, il devra aussitôt, en se maintenant à fleur d'eau pour gouverner avec précision, se diriger sur ce bâtiment avec toute la vitesse que pourra lui procurer l'introduction dans les cylindres de l'air comprimé à sa plus haute pression, pendant toute la durée de la course des pistons.

A partir du moment où le bateau sous-marin aura surgi, si c'est pendant le jour, il sera aperçu par l'ennemi qui cherchera à l'éviter, en manœuvrant, et à le détruire même à coups de canon. Mais l'expédition et l'exécution des ordres pour la manœuvre et le tir exigent toujours un certain temps, que le bateau sous-marin mettra à profit pour parcourir la distance qui le sépare de l'ennemi.

Si, en surgissant pour la première fois, il s'en trouve trop éloigné, il prendra aussitôt un point de départ pour plonger de nouveau et s'en aller reparaître sur un point suffisamment rapproché du bâtiment ennemi, mais dans une autre direction par rapport à lui, afin de déconcerter ses prévisions s'il en a été aperçu.

Ces diverses manœuvres supposent une mer assez belle. C'est seulement, en effet, dans cette circonstance que des navires peuvent attaquer sérieusement une place maritime. Nous avons supposé aussi l'opération faite en plein jour par un temps clair.

Il est évident que, la nuit, le bateau sous-marin pourrait, le plus souvent, parcourir à fleur d'eau, tout le trajet de la rade à l'ennemi, sans être aperçu ni inquiété.

[1] Une expérience fort simple permettrait d'estimer le degré de précision dans la route que l'on peut obtenir à l'aide des différents moyens d'appréciation que nous avons indiqués. Il suffirait, en effet, de diriger un bâtiment ordinaire sur un but marqué, comme on pourrait le faire en naviguant entre deux eaux, c'est-à-dire en cessant de regarder le but, après avoir mesuré, au départ, son relèvement et sa distance. L'écart qui existerait entre le point où l'on se serait proposé d'arriver et celui où l'on arriverait réellement servirait à mesurer le degré de précision dont la navigation entre deux eaux est susceptible.

Mais l'attaque du port et son bombardement pouvant commencer à la pointe du jour, il importe de les repousser aussitôt sans attendre la nuit prochaine.

Il est évident aussi que le bateau sous-marin serait infailliblement atteint si, après avoir opéré son œuvre de destruction, il ne se dérobait en plongeant aux coups des bâtiments ennemis. Un bateau qui ne pourrait naviguer qu'à fleur d'eau serait donc hors d'état d'accomplir avec une sécurité suffisante la mission délicate dont il s'agit.

Nous n'avons considéré jusqu'à présent que l'attaque d'un bâtiment isolé, mais une opération militaire sérieuse, contre un de nos ports de guerre surtout, ne s'entreprendrait qu'avec un certain nombre de bâtiments, et il est très probable qu'un bateau sous-marin bien dirigé, après avoir surgi à fleur d'eau, pour la première fois, comme il vient d'être dit, n'aurait qu'à choisir celui des bâtiments ennemis qu'il lui conviendrait d'attaquer.

Nous croyons à peine nécessaire de dire que nous entendons faire usage d'un gouvernail ordinaire, placé à l'arrière de l'hélice, pour donner au bateau sous-marin la direction voulue dans le plan horizontal.

5° *Moyens de destruction.*

Parmi les moyens pratiqués jusqu'ici pour détruire les bâtiments ennemis, autrement que par un combat en règle, les brûlots, dont l'origine remonte à la plus haute antiquité, ont joué le plus grand rôle.

Leur succès, en général, a beaucoup moins dépendu de la perfection de leurs installations que de la hardiesse et de l'habileté de ceux qui les dirigeaient, ainsi que du défaut d'expérience ou de courage des équipages des navires contre lesquels ils étaient lancés.

Si les brûlots de Canaris portaient la terreur dans les flottes ottomanes, c'est que ce hardi marin n'abandonnait pas leur action aux hasards des vents et des courants. Il les conduisait lui-même sous les beauprés des Turcs, effrayés de son audace.

Avant lui déjà, sous l'ancienne monarchie, nos capitaines de brûlots avaient montré la large part faite au courage individuel dans ce genre de combats. La plupart payèrent leur dévouement de leur vie, mais non sans avoir porté souvent l'incendie et la destruction dans les flottes de l'Angleterre.

L'insuccès, au contraire, a presque toujours accompagné les tentatives dans lesquelles on a voulu agir à distance, en abandonnant en dérive, sans direction certaine, des brûlots ou d'autres moyens incendiaires flottants, tels que pétards, catimarons, etc., etc.

Il suffirait, pour s'en convaincre, de lire dans l'ouvrage de M. Montgéry, déjà cité, le récit des efforts infructueux faits par les Américains pour détruire les vaisseaux anglais, sur leurs côtes, pendant la guerre de l'indépendance.

Les entreprises des Anglais contre nos ports n'ont pas été plus plus heureuses, à l'exception de celle dont fut victime notre escadre de Rochefort. Encore, dans cette dernière circonstance, un peu plus d'habileté chez les commandants et de fermeté dans les équipages aurait-il suffi pour épargner ce honteux désastre à notre marine.

La condition première pour qu'un moyen de destruction employé contre des bâtiments ennemis soit efficace est donc *que cet engin puisse être dirigée avec précision, jusqu'au dernier moment, et immédiatement appliqué sur le bâtiment à détruire.*

L'humanité exige aussi *que ceux qui l'ont dirigé et appliqué trouvent, après son action, des chances raisonnables de salut.*

Dans un grand nombre de tentatives faites pour opérer ainsi la destruction de bâtiments ennemis, on a voulu attacher à leur carène soit une chemise souffrée destinée à l'incendier, soit un pétard dont l'explosion devait y produire une large voie d'eau.

Mais ces opérations, au moyen de la navigation sous-marine, présentaient d'insurmontables difficultés, soit qu'on cherchât, comme Bushnell, à attacher le pétard de l'intérieur même du bateau, soit qu'il fallût, pour agir, sortir d'une embarcation sous-marine pareille à celle des frères Coessin.

Nous pouvons même établir comme un principe évident par lui-même que toute opération agressive sous-marine qui exige la sortie momentanée des hommes du bateau sous-marin est dangereuse au plus haut degré pour ces hommes et pour le bateau. Nous poserons alors comme troisième condition que *les moyens de destruction ne doivent réclamer, pour être mis en œuvre, qu'une manœuvre du bateau à l'intérieur.*

Quant au choix de la partie de la carène de l'ennemi contre laquelle il est préférable de diriger l'action du bateau sous-marin, les bâtiments destinés à l'attaque des forts devant être le plus sou-

vent revêtus de cuirasse en fer[1] jusqu'à une certaine profondeur au-dessous de la flottaison, il en résulte l'obligation *de diriger assez bas sous l'eau les coups portés par des bateaux sous-marins contre des bâtiments ennemis.*

Une autre considération rend cette obligation plus impérieuse. On sait, en effet, que le plus léger obstacle suffit quelquefois pour détourner l'explosion des bombes, pétards, etc., etc., dans les directions où elle peut se faire librement; qu'un pétard, par exemple, attaché à une porte, la respecte dans son explosion, s'il est complètement à nu, et la brise en éclats, s'il est couvert seulement d'une mince étoffe.

Ce fait, connu de tous les artilleurs, explique en partie le peu d'effet produit par l'explosion des engins flottants, dont les éclats, ainsi que les gaz développés par l'inflammation de la poudre, s'échappent librement dans l'atmosphère, suivant les directions où ils ne rencontrent pas d'obstacles.

En agissant à plus d'un mètre sous l'eau, on trouve dans la couche d'eau supérieure une résistance suffisante pour détourner l'explosion contre la carène du bâtiment ennemi, surtout si, comme nous le proposons, on fait pénétrer en partie cette carène par l'engin destructeur.

Les conditions qui viennent d'être posées, et qui sont essentielles pour garantir le succès, excluent la plupart des combinaisons employées jusqu'ici dans la navigation sous-marine; combinaisons qui, d'ailleurs, ainsi que nous l'avons dit déjà, n'ont donné de résultats que grâce au manque de fermeté et de sang-froid de ceux contre qui elles étaient mises en œuvre[2].

Quant aux *colombiades* américaines, énormes canons courts que Fulton proposait de tirer sous la flottaison, pour faire une large

[1] Des batteries flottantes ne pourraient opérer contre nos ports que si elles étaient soutenus par des forces navales suffisantes pour tenir en échec nos escadres. Les bateaux sous-marins appelés à concourir à la défense d'un port attaqué devront donc s'attacher de préférence à détruire les plus gros vaisseaux, seraient-ils hors de portée de canon, attendu que la perte de quelques-uns de ces vaisseaux, en rétablissant l'égalité des forces, permettrait à notre escadre d'engager la lutte et de repousser l'ennemi.

[2] M. Montgéry cite l'effet d'une torpille dirigée par les Américains contre le vaisseau anglais le *Plantagenet*, et dont l'explosion aurait endommagé la proue de ce vaisseau, lequel aurait été abandonné par son équipage dans un premier moment de frayeur; mais rien n'indique que cette frayeur ait été justifiée et que le *Plantagenet* ait réellement coulé par suite de l'explosion.

brèche dans la carène ennemie, quoi qu'on ait dit de leur prétendu succès, ce que l'on sait de la grande résistance opposée à des vitesses très rapides par l'incompressibilité de l'eau, résistance dont les ricochets des boulets peuvent donner une idée, autorise à considérer les canons tirant à une certaine profondeur sous l'eau comme placés dans les conditions d'explosion les plus dangereuses.

Or l'explosion sous l'eau de bouches à feu faisant corps pour ainsi dire avec la carène entraînerait infailliblement la perte du bateau qui en ferait usage.

Il nous faut donc avoir recours à des moyens tout différents de ceux employés jusqu'ici, la plupart sans succès ; et pour cela il est naturel de tirer parti de la vitesse de sillage que possédera le bateau sous-marin projeté et qui manquait à ses devanciers.

Nous proposons de *détruire les bâtiments ennemis en faisant éclater dans leur carène un projectile creux en acier, de forme conique et de grosseur convenable, rempli de poudre ou d'artifices, pénétrant dans la muraille du bâtiment ennemi par l'effet du choc, aussi normal que possible du bateau sous-marin animé de toute la vitesse dont il est susceptible.*

Afin de produire cet effet, sans danger pour le bateau sous-marin lui-même, nous terminons son étrave horizontalement, à peu près dans l'axe de figure et dans le prolongement de l'axe du propulseur par un éperon en fer sur lequel s'ajuste une sorte de mât d'assemblage, consolidé, si l'on veut, par des jumelles en fer, cerclé aussi en fer, et portant à son extrémité le projectile dont il vient d'être question, et dont la grosseur ainsi que la charge de poudre se détermineraient par des expériences préalables.

L'explosion après le choc produirait évidemment un double effet.

En premier lieu, elle creuserait dans la carène de l'ennemi une brèche capable de lui faire courir les plus grands dangers, sinon de le couler sur le-champ. En second lieu, elle briserait le mât portant le projectile et dégagerait ainsi le bateau sous-marin de la carène de l'ennemi.

Il nous reste à parler des moyens de produire l'explosion.

Celui qui se présente tout d'abord est l'emploi d'un mécanisme percutant pareil à celui des obus *Billette :* la grande masse du corps choquant faisant en partie compensation à son défaut de vitesse.

Mais ce procédé aurait, entre autres inconvénients, celui de donner lieu à une explosion dans le cas de la rencontre accidentelle d'un corps autre que le bâtiment à attaquer, et celui d'être sans effet, au contraire, si le choc avait une certaine obliquité.

Un moyen plus sûr serait celui qui sert aujourd'hui à mettre le feu aux mines.

Il consisterait à placer à l'intérieur du bateau une batterie électrique formée, par exemple, de piles de Bunsen, et munie de deux fils métalliques partant chacun d'un des pôles de la batterie pour aboutir à l'intérieur du projectile où leurs extrémités seraient mises en présence au milieu des matières explosibles. La mise en action de la batterie ferait immédiatement jaillir une étincelle qui produirait l'explosion, et le choc de l'abordage indiquerait suffisamment le moment favorable pour la déterminer.

L'effet de l'explosion sur le bateau sous-marin lui-même sera d'ailleurs complètement sans danger, si l'on a soin de donner à sa proue une forme aiguë, favorable aussi à la vitesse, et d'établir dans cette partie des blindages et des compartiments étanches pleins d'eau et de matières légères et élastiques, comme du coton comprimé.

Les principes que nous venons de développer sur la locomotion, la direction et l'emploi des bateaux sous-marins forment la base essentielle du système de défense des ports, par la navigation sous-marine dont nous proposons l'adoption.

Ce système se résume en peu de mots ainsi qu'il suit :

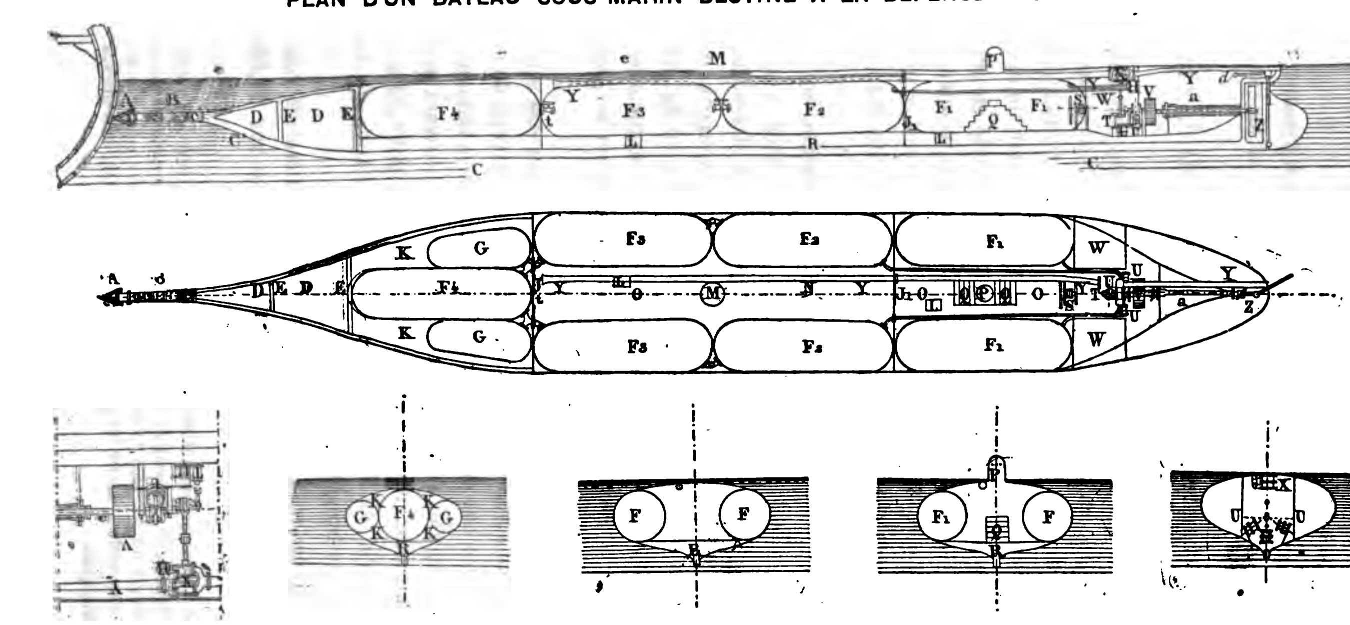
1° *Emploi de l'air comprimé pour la respiration de l'équipage du bateau, après que cet air, détendu par une machine semblable aux machines ordinaires à haute pression, a servi à lui imprimer la vitesse nécessaire ;*

2° *Combinaison du choc du bateau sous-marin et de l'explosion d'un gros projectile, dans la carène de l'ennemi, pour le couler.*

DESCRIPTION DU BATEAU SOUS-MARIN ET DE SON APPAREIL.

Le bateau sous-marin dont le plan est ci-joint a 41 mètres de longueur depuis l'extrémité avant de l'étrave jusqu'à la face arrière de l'étambot porte-gouvernail. Comptée depuis la pointe extrême du projectile A jusqu'à l'arrière du gouvernail, cette longueur est de 46 mètres.

PLAN D'UN BATEAU SOUS-MARIN DESTINÉ A LA DÉFENSE DES PORTS.



A. Projectile creux, conique. — B. Mât d'assemblage ajusté sur l'éperon *cc*, à l'extrémité de l'étrave. — CC. Quille en fer se terminant par l'étrave *cc*, et par un éperon C'. — DD. Compartiments remplis de balles de coton. — EE. Cloisons en bois, doublées de forte tôle, formant blindage. — $F_1F_2F_3$, etc. Grands réservoirs cylindriques, terminés par des calottes hémisphériques. — GG. Petits réservoirs tronconiques, terminés par des calottes hémisphériques. — H. Réservoir central, communiquant d'une part, avec les tiroirs des cylindres, d'autre part, avec chacun des réservoirs F_1, F_2 ; les réservoirs F_3, F_4, G, communiquant de l'un à l'autre. — JJ_1. Cloisons étanches. — K. Compartiment plein d'eau, communiquant à volonté avec l'eau ambiante, le réservoir F_4 ou la chambre intérieure du bateau. — LL. Puits pour jeter le lest. — M. Porte de sortie. — N. Projection horizontale des centres de gravité et de carène. — O. Chambre intérieure du bateau. — P. Observatoire blindé à l'avant, avec porte à l'arrière, et percé dans le haut de trous à couvertures mobiles, pour observer l'horizon. — Q. Banc de quart, avec marches. — R. Lest en fer. — S. Roue de gouvernail. — T. Pompe de cale, disposée pour marcher soit par la machine, soit à bras. — U. Cylindres de la machine atmosphérique (2 de ces cylindres sont obliques à l'horizon et ont les bielles de leurs pistons conjugées sur la même manivelle ; le 3e, placé verticalement, a son axe dans le plan longitudinal). — V. Tambour pour manœuvrer l'hélice à bras. — X. Pompe à air à double effet, pour expulser l'air vicié ; elle a la bielle de sa tige de piston attelée sur la même manivelle que celle du cylindre vertical. — Y. Tuyau pour l'expulsion de l'air vicié. — Z. Hélice. — W. Compartiments pleins d'eau, communiquant à volonté avec l'eau ambiante, le réservoir à air le plus voisin ou la chambre intérieure du bateau. — *a*. Arbre de l'hélice. — *cc*. Eperon. — *d*. Barre de gouvernail, mue par des drosses allant aboutir à la roue S. — *ee*. Niveau de la flottaison pendant la marche à fleur d'eau.

La largeur est de 6 mètres, et la hauteur totale, du sommet de l'observatoire P au-dessous de la quille, de $4^{m},20$.

Le point N sur le plan horizontal indique approximativement la projection du centre de gravité et du centre de carène, situés sur la même verticale.

A l'intérieur de la chambre du bateau O, la hauteur est de 2 mètres à l'avant et $2^{m}40$, au maximum, à l'arrière.

Ce bateau serait construit en fortes tôles, comme tous les bâtiments en fer. Une quille en fer très lourde, servirait à la fois de base à sa construction et de lest pour maintenir sa stabilité. Cette quille se prolongerait à l'avant, par l'étrave d'abord et ensuite par un éperon servant de mèche au mât d'assemblage cerclé et jumelé en fer, comme il a été dit dans le précédent paragraphe. Ce mât lui-même, de 3 mètres de longueur sur $0^{m},30$ de diamètre, porterait le projectile en acier, conique et creux; destiné à faire explosion dans la carène du navire ennemi.

On suppose que les dimensions de ce mât et ses jumelles en fer lui donnent assez de solidité pour supporter le premier choc à une vitesse de 9 nœuds; et que l'explosion du projectile, en détruisant son assemblage, dégagera complètement le bateau sous-marin du navire abordé. Si l'expérience démontrait que la résistance du mât au choc est insuffisante, il serait facile d'y remédier en augmentant la force des jumelles et même la grosseur de la mèche en fer, sur laquelle le mât d'assemblage est ajusté.

Lorsque le bateau naviguerait à fleur d'eau, pour opérer son attaque, l'axe de l'éperon serait parallèle à la surface du niveau de la mer, à $1^{m},50$, en contre bas de cette surface qui serait alors tangente à la surface supérieure de la partie arrière de la coque, suivant une génératrice longitudinale. Et le coup serait porté ainsi à $1^{m},50$ au-dessous de la flottaison de l'ennemi, c'est-à-dire au-dessous de la cuirasse des bâtiments blindés[1].

Au moment de l'aborder, le bateau sous-marin ne laisserait voir au-dessus de l'eau que l'observatoire P, haut de 1 mètre sur $0^{m},65$

[1] Dans le cas où les Anglais prolongeraient plus bas les cuirasses de leurs bâtiments, il serait facile d'abaisser aussi la position de l'éperon jusqu'au prolongement de la quille et même d'immerger un peu plus le bateau pendant l'attaque. D'ailleurs, comme nous l'avons dit déjà, c'est surtout contre les gros vaisseaux que les bateaux sous-marins devront diriger leurs attaques.

de diamètre, blindé à l'avant, muni d'une porte de sortie à l'arrière et percée de trous à fermetures mobiles par lesquels le capitaine observerait le navire ennemi pour diriger l'attaque.

L'examen du plan ci-joint et la lecture de la légende qui l'accompagne suffisent pour donner une connaissance assez exacte de la forme du bateau projeté et de la nature de ses installations. Nous nous contenterons donc d'y joindre les explications qui vont suivre.

La stabilité du bateau serait garantie, en premier lieu, par sa quille de fer située fort au-dessous du centre de carène ; en second lieu, par la position assez basse du centre de gravité de la machine et des divers objets d'armement, enfin par la présence d'environ 90 tonneaux de lest en fer au-dessous du plancher de la chambre, et dans l'angle des varangues.

En cas de nécessité, on ferait remonter rapidement le bateau à la surface en jetant ce lest en fer par les panneaux LL, après avoir pris la précaution de faire monter la pression de l'air dans la chambre au-dessus de celle du liquide ambiant.

L'inspection des installations et de la forme de l'avant montre clairement d'ailleurs qu'aucun accident grave ne peut être, pour le bateau, la conséquence de l'explosion du projectile.

En effet, les tangentes menées du point d'explosion à la surface de la carène font entre elles des angles assez petits pour que les chances de voir des éclats frapper la coque soient très faibles.

En outre, la petitesse de l'angle sous lequel ces éclats frapperaient la partie blindée de la coque, après avoir eu leur vitesse amortie par la résistance de l'eau, donneraient vraisemblablement lieu à des ricochets. Enfin, dans le cas même où il y aurait pénétration, les cloisons blindées et étanches, ainsi que les matières accumulées dans les compartiments de l'avant, anéantiraient certainement la vitesse des éclats et les empêcheraient de parvenir à l'intérieur du bateau.

D'un autre côté, les compartiments étanches étant remplis de matières d'une densité au moins égale à celle de l'eau, l'assiette du bateau ne serait pas changée par l'effet d'une brèche dans la muraille à cette partie.

Nous ne sommes donc pas éloignés de penser que nous indiquons ici des précautions exagérées; mais il nous a paru préférable de pêcher plutôt par excès de prudence que par excès de témérité, dans les premiers essais de ce genre qui pourraient être tentés.

Les réservoirs à air F_1, F_2, etc., seraient en acier fondu, à deux rangs de rivets croisés et revêtus intérieurement d'un enduit imperméable à l'air. Ils devraient résister à une épreuve de vingt atmosphères à la presse hydraulique et à une pression d'air comprimé d'au moins quinze atmosphères, conditions déjà remplies par des réservoirs à air du même genre, ainsi que par des chaudières à haute pression, et qui permettraient de faire fonctionner avec sécurité l'appareil, à la pression de douze atmosphères au départ[1].

Le volume de chacun des grands réservoirs F_1, F_2, etc., de forme cylindro-sphérique, comme les chaudières à haute pression, est de 19mc,5 environ. Chacun des petits réservoirs G a la forme d'un tronc de cône terminé par deux hémisphères et un volume de 5 mètres cubes.

Les sept réservoirs de l'avant communiquent entre eux. Les deux réservoirs F_2 et les deux réservoirs F_1 communiquent en outre directement, par des tuyaux, avec un réservoir central H qui distribue l'air comprimé aux tiroirs de la machine, par l'un quelconque des systèmes de régulation en usage, dans les machines à haute pression.

[1] MM. Petin et Gaudet ont construit et exposé en 1855 des chaudières à haute pression, en acier fondu, destinées à fonctionner à 15 atmosphères.

M. Anjubault, mécanicien à Paris, construit des appareils à air dont les réservoirs, au dire de ce fabricant, auraient supporté sans fuites sensibles, une pression hydraulique de 30 atmosphères et une pression de 15 atmosphères d'air comprimé.

Ces réservoirs que nous avons vus chez le fabricant sont en tôle de première qualité, de 6 millimètres d'épaisseur seulement. Il est vrai que leur diamètre n'est que de 0m,50.

On doit remarquer que les réservoirs à air comprimé ne sont pas soumis aux mêmes effets destructeurs que les chaudières à haute pression et que, par conséquent, ils conservent mieux la solidité constatée dans les épreuves, tandis que chaque heure de chauffe fait perdre à la tôle des chaudières à haute pression une partie de sa force.

La rupture d'un réservoir à air serait beaucoup moins dangereuse que celle d'une chaudière à haute pression.

On sait, en effet, qu'il y a deux sortes d'accidents de ce genre dans les machines à vapeur : 1° l'explosion foudroyante, la plus redoutable, due à la production presque instantanée d'une énorme quantité de vapeur, et la seule qui opère une projection des objets voisins ; 2° la simple déchirure des tôles qui laisse échapper l'eau et la vapeur brûlantes. Le premier cas ne saurait se présenter pour les réservoirs, attendu qu'ils ne donnent pas lieu à la production du gaz et que la pression tendrait à baisser dès qu'il se produirait une déchirure. Le deuxième cas, avec de l'air condensé, n'offrirait aucun danger, car cet air est sans action nuisible sur l'organisme, et sa dilatation, au milieu de la chambre du bateau, s'opérerait assez promptement pour que sa densité ne gênât pas la respiration.

La pression de douze atmosphères que nous prenons pour base de nos calculs n'a donné rien d'exagéré. Elle n'exige que des épaisseurs de tôle d'un centimètre au plus, et elle pourrait être de beaucoup dépassée.

Ces dispositions donnent, par le fait, quatre groupes de réservoirs indépendants et permettent de garder en réserve, pour le moment de l'attaque, de l'air comprimé à la pression maximum.

En K, à l'avant et en W à l'arrière, sont des compartiments à eau, installés, comme il a été dit plus haut, pour se remplir et se vider par la seule manœuvre de robinets de communication entre ces deux compartiments, les réservoirs à air, le milieu ambiant, et enfin la chambre intérieure du bateau.

En outre, chacun des compartiments est muni d'une pompe à main servant à le vider sans le secours de l'air comprimé et d'un robinet de communication avec le bas de la chambre intérieure pour y vider l'eau de ce compartiment qui serait pompée ensuite par la pompe de la machine.

Le compartiment de l'avant peut contenir au maximum environ 16 mètres cubes d'eau, en outre de ses réservoirs à air. Les compartiments de l'arrière peuvent renfermer chacun 8 mètres cubes.

Le lest en fer serait réparti de façon que l'axe du bateau, supposé toujours à peu près dans le prolongement de la direction de la poussée de l'hélice, se trouvât horizontal lorsque le compartiment de l'avant contiendrait quinze tonneaux d'eau, ainsi que les deux de l'arrière. La quantité de ce lest devrait être telle qu'avec cette dernière quantité d'eau, montant à trente tonneaux en tout, dans les compartiments, le bateau sous-marin fût entièrement immergé, à l'exception seulement de l'observatoire P, d'un volume de $0^{mc},350$. Cette situation est celle du bateau naviguant à fleur d'eau pour attaquer l'ennemi, comme le représente le plan.

Les niveaux de l'eau dans les compartiments seraient repérés, afin de permettre d'y arriver sans tâtonnements. On repérerait aussi une ligne de niveau supérieure à la première et correspondant à un volume d'eau, dans les compartiments, supérieur de $0^{mc},350$, au précédent. Ce dernier niveau correspondrait aussi à l'équilibre complet entre le poids du bateau et la poussée verticale, de sorte qu'en remplissant entièrement tous les compartiments à eau, on produirait une force motrice tendant à faire plonger le bateau, égale à deux tonneaux, moins les 350 kilogrammes d'eau qui représentent le volume de l'observatoire, c'est-à-dire égale à 1650 kilogrammes.

D'après ce qui a été dit déjà sur les moyens d'ascension et d'immersion, si l'on suppose le bateau en équilibre par rapport aux

forces verticales, et à une certaine profondeur sous l'eau, il suffira pour le faire monter ou descendre, de faire baisser ou monter le niveau de l'eau dans le compartiment de l'avant que nous appelons *régulateur*, au-dessous ou au-dessus du dernier niveau dont nous venons de parler.

On ne ferait usage du compartiment de l'arrière, pour le remplir entièrement ou pour le vider en tout ou en partie, que dans les circonstances où l'on aurait intérêt à produire un mouvement rapide d'immersion ou d'ascension, ou bien lorsque l'on voudrait naviguer entièrement à la surface de l'eau.

Pour éviter la confusion, on n'a indiqué sur le plan ni les chariots lesteurs, ni les ailerons horizontaux, ni les gouvernails à axe horizontal, qu'on pourrait établir à l'arrière des ailerons de poupe. La nécessité de ces installations ne nous paraît pas d'ailleurs évidente, et il serait bon d'attendre, pour les exécuter, que l'expérience eût prononcé sur le degré d'efficacité du moyen principal d'ascension et d'immersion que nous proposons.

Dans tous les cas, les rails pour les chariots lesteurs pourraient être placés depuis la cloison J jusqu'à la roue du gouvernail, et les chariots parcourraient alors des distances de 10 mètres en avant et de 10 mètres en arrière du centre de gravité. En donnant à ces chariots un poids total de 1500 kilos, on pourrait, d'après ce qui a été dit plus haut, produire une inclinaison dans la direction du mouvement de 4° 54′ sur l'avant ou sur l'arrière.

La forme et l'étendue des ailerons ne sauraient être fixées à l'avance, puisque leur utilité même ne pourrait être établie qu'à la suite d'expériences préalables. Si l'on devait recourir à l'usage de gouvernails à axe horizontal, il conviendrait de terminer l'arrière de chacun des ailerons de poupe par une arête perpendiculaire au plan vertical longitudinal, et de prendre cette arête pour axe de rotation du gouvernail horizontal. Sa mèche pénétrerait dans la carène, par un presse-étoupe, entre le réservoir à air F_1 et le compartiment à eau W, et sa barre se manœuvrerait dans un plan parallèle au plan vertical longitudinal, à côté de la roue S du gouvernail vertical ordinaire et le long de la paroi intérieure du compartiment W.

A l'arrière, le bateau sous-marin a la forme d'une carène d'aviso ordinaire, coupée au-dessus de l'entrée du gouvernail dans le navire. Cette entrée a lieu par un presse-étoupe, et le gouvernail, destiné à

fonctionner seulement par le beau temps et à l'abri des lames, a $1^m,50$ de largeur de safran, dimension de nature à assurer la vivacité des mouvements giratoires. La barre de gouvernail *d* est mise en mouvement, comme à l'ordinaire, par des drosses venant de la roue.

La machine indiquée sur le plan est une machine à simple effet, et à trois cylindres du genre de celles dites atmosphériques. Ce système offre l'avantage de laisser les dessus des pistons à découvert, ce qui permet d'arrêter plus facilement les fuites d'air qui auraient lieu par les garnitures des pistons des cylindres.

Afin de ne pas multiplier le nombre des manivelles, on a donné à deux des cylindres dont les axes sont dans le même plan vertical, une inclinaison de 45° et l'on a attelé la bielle de leurs pistons sur la même manivelle, tandis qu'une autre manivelle sur l'avant, directement opposée à la première, reçoit la bielle du troisième cylindre dont l'axe est vertical.

Nous avons dit que l'introduction de l'air aurait lieu par le même mode de régularisation que dans les machines à haute pression. En outre, il serait nécessaire d'avoir une détente variable pour régler cette introduction, de façon que la pression finale, quelle que fût la pression initiale, n'excédât que fort peu la pression résistante nuisible.

L'évacuation de l'air après sa détente, ayant lieu directement dans la chambre du bateau, cette pression nuisible, avec des orifices d'évacuation suffisamment larges ne serait autre que la pression de l'air à l'intérieur du bateau, c'est-à-dire environ une atmosphère.

Avec une pression initiale de 12 atmosphères au départ, l'introduction devrait être réglée à 1/10 pour donner une pression finale de $1^a 2'$, qui remplirait la condition voulue d'être supérieure à la pression résistante, et cette introduction devrait croître en raison inverse de l'abaissement de la pression pendant la marche, ce qui donnerait toujours le même poids d'air introduit, mais une quantité constamment décroissante de travail moteur par suite de la diminution de la détente[1].

Au moment d'attaquer l'ennemi et dès qu'on serait à fleur d'eau,

[1] Il est clair que les espaces morts des cylindres et des tiroirs donneraient lieu à des pertes d'air et modifieraient un peu les calculs relatifs à la détente. Il en sera tenu compte dans l'évaluation de la durée de l'approvisionnement.

on introduirait l'air comprimé pendant toute la course, ce qui augmenterait notablement la puissance motrice et la vitesse.

Les dimensions des mécanismes devront être calculées dans l'hypothèse de ce travail maximum. Les cylindres à air ont 0m,36 de diamètre, et leurs pistons 0m,36 de course. L'hélice installée comme sur les bâtiments ordinaires, a les proportions suivantes : diamètre = 2m,00. — Pas = 4m,00, 6 ailes, fraction de pas totale = 0m,30.

La pompe d'expulsion de l'air X, à double effet, a son axe dans le prolongement de celui du cylindre à air vertical et reçoit son mouvement de la même manivelle. Elle a la même course que le piston de ce cylindre, et son diamètre, de 0m,48, a été déterminé par la condition d'expulser une quantité d'air égale à celle évacuée des cylindres à air.

L'air vicié aspiré à l'extrémité avant du bateau, après qu'il a servi en partie à la respiration, et chassé par la pompe X, s'écoule à l'arrière par le tuyau Y dans une direction parallèle à la quille, de façon à aider à la propulsion du bateau. La vitesse horizontale qui lui est imprimée a pour conséquence la dispersion des globules d'air avant qu'ils remontent à la surface où leur trop grand nombre pourrait, sans cette disposition, déceler la présence du bateau par l'agitation de la mer.

Si l'expulsion de l'air par la pompe X était insuffisante, on y suppléerait en ouvrant un robinet spécial de communication entre le haut de la chambre et le milieu ambiant, lorsque la pression intérieure serait en excès sur la pression extérieure. Si, au contraire, l'expulsion était trop forte, on la suspendrait en déclenchant la bielle de la pompe à air qui serait disposée à cet effet. On pourrait même, en communiquant le mouvement de l'arbre à hélice à la bielle de la tige de piston de la pompe X par un double excentrique, faire varier à son gré la course de ce piston et, par conséquent, le volume d'air expulsé, par le seul changement de position relative des excentricités.

Si la machine venait à être paralysée entièrement par une avarie, on ferait marcher l'hélice à bras, au moyen du tambour V, ou bien on ferait usage d'avirons de galère, installés et manœuvrés à la partie supérieure de la coque, dans le cas toutefois où l'on pourrait marcher à fleur d'eau.

Quant à l'obligation éventuelle de mouiller, le but essentiellement limité des opérations de notre bateau sous-marin nous dispense de la prévoir ainsi que les installations qu'elle entraîne et qui seraient de nature à nuire singulièrement à la marche du bateau et au succès de ses opérations.

Il sera convenable de faire surveiller le bateau sous-marin, à son retour, par un petit bâtiment à vapeur approprié à ce service et capable d'aller le prendre à la remorque sous le feu de l'ennemi, s'il venait à être drossé par le vent ou le courant à la suite d'une avarie.

Dans tous les cas, des boucles d'amarrage seraient fixées sur différents points de la partie supérieure de la coque, et le bateau prendrait, à l'intérieur, une ancre à jet de 200 kilog., qui passerait au besoin par le panneau M, si l'on était à la surface de l'eau, ou par le panneau L de l'avant si l'on préférait se tenir quelque temps entre deux eaux, en maintenant une forte pression à l'intérieur.

Le reste des objets d'armement et d'approvisionnement se réduirait au plus strict nécessaire, afin d'éviter l'encombrement et la diminution du volume d'air respirable. Il comprendrait, outre les compas et la pile électrique dont il a été déjà question, un petit approvisionnement de matières grasses pour la machine, 48 heures de vivres et d'eau pour un équipage de 12 hommes, quelques avirons de galère, et les ustensiles nécessaires pour aveugler une voie d'eau dans la coque.

Le jour, le bateau serait éclairé par une série de verres lenticulaires placés à la partie supérieure de la coque. La nuit, l'approvisionnement d'air condensé permettrait d'entretenir un ou deux fanaux qu'on placerait à l'avant, dans le voisinage de la prise d'air du tuyau Y.

Afin de diminuer la quantité de matières organiques exhalées par l'équipage, il serait bon que chaque homme portât, sur des effets de laine, un vêtement imperméable comme celui du plongeur armé du scaphandre[1].

Pour parer en outre à des éventualités dont la réalisation est peu probable, si le bateau est également bien construit et manœuvré, on pourrait munir chaque homme d'un appareil de sauvetage et même

[1] Les deux tiers des matières organiques exhalées par l'homme proviennent de la transpiration.

d'un matelas élastique plein d'air, disposé pour former un radeau par sa réunion avec les matelas du reste de l'équipage.

Le compartiment K et l'un des compartiments W auraient chacun une porte latérale à la partie inférieure, comme dans la cloche hydraulique de M. Payerne, pour permettre à l'équipage d'évacuer le bateau si son salut l'exigeait. Ces compartiments communiqueraient aussi, dans le même but, avec la chambre intérieure, par des portes pratiquées dans leur partie supérieure.

Le bateau sous-marin que nous venons de décrire a un déplacement d'environ 350 tonneaux; son volume est moindre que celui d'un aviso à vapeur de 120 chevaux, comme le *Pélican*. Le poids de sa coque, en raison de la force de la quille, de la grosseur des tôles et du nombre des cloisons blindées ou étanches, peut être approximativement évaluée à la moitié de ce déplacement ou à 175 tonneaux. Si l'on évalue en outre à 30 tonneaux le poids des réservoirs à air, à 6 tonneaux celui des réservoirs à eau, à 30 tonneaux celui de l'eau qu'ils contiennent, à 10 tonneaux le poids de la machine, capable d'une puissance maximum de 84 chevaux, enfin à 9 tonneaux celui de tous les autres objets de l'armement, il reste pour lest environ 90 tonneaux, quantité qui dépasse de beaucoup ce qui est nécessaire pour la stabilité et qui laisse une large marge pour les erreurs d'appréciation.

La détermination exacte de la quantité totale de lest à prendre se fera d'ailleurs, par expérience, au dernier moment de l'armement et, comme nous l'avons dit déjà, d'après cette condition que l'armement étant complet et les compartiments d'eau remplis jusqu'au repère inférieur, le bateau soit immergé entièrement, à l'exception de l'observatoire P.

Lorsque les compartiments sont remplis jusqu'au repère supérieur et qu'alors l'observatoire lui-même est sous l'eau, la surface résistante du bateau mesurée dans le plan transversal mené suivant l'axe de l'observatoire est de quatorze mètres carrés.

Enfin le volume d'air renfermé à l'intérieur de la chambre, et disponible pour la respiration, peut être évalué à 100 mètres cubes, en tenant compte des objets d'armement que renferme le bateau.

Passons maintenant aux calculs, qui vont nous faire connaître la puissance motrice, la vitesse et la durée de la navigation de notre bateau sous-marin.

CALCULS DE LA VITESSE ET DE LA DURÉE DE LA NAVIGATION.

Nous avons dit que le volume de chacun des grands réservoirs à air était de $19^{mc},50$, et celui de chacun des petits de 5 mètres cubes. En faisant le total et y ajoutant le volume du petit réservoir central H avec ses tuyaux, on trouve que les réservoirs à air peuvent contenir en nombre rond un volume de 147 mètres cubes.

La pression de l'air dans ces réservoirs étant supposée de 12 atmosphères, et nous avons montré qu'elle n'a rien d'exagéré, ce volume représente 1764 mètres cubes d'air, à la pression d'une atmosphère, auxquels il faut ajouter les 100 mètres cubes renfermés dans la chambre du bateau.

On a ainsi un volume total de 1864 mètres cubes d'air respirable pour un équipage de 12 hommes. Or, si l'on consulte les auteurs les plus compétents (Béclard, *Physiologie humaine;* Tardieu, *Dictionnaire d'hygiène,* art. AIR), on trouve que 5 à 6 mètres cubes d'air par heure et par homme peuvent suffire, et qu'avec 8 mètres cubes par heure et par homme, on aurait un approvisionnement largement au-dessus des besoins, à la condition toutefois de ne pas entretenir de feux ou de lumières.

En adoptant cette dernière base, le bateau renfermerait un approvisionnement d'air respirable dont la durée serait égale à $\frac{1864}{8 \times 12}$ ou 19 heures 41 centièmes, s'il n'était employé d'autre part à faire mouvoir la machine, à régler le niveau d'eau du compartiment *régulateur*, ou si les réservoirs n'avaient des fuites.

Calculons maintenant le travail mécanique dont est capable un volume d'air de 147^{mc} à la pression de 12 atmosphères, détendu jusqu'à occuper dix fois son volume primitif et n'avoir plus qu'une pression finale de $1^{a}2$, comme nous l'avons supposé, la pression résistante nuisible étant d'une atmosphère[1].

Théoriquement, ce travail est donné par la formule $T^m = pV \left(\log \text{hyp} \frac{V_1}{V}\right) - p^1(V_1 - V)$, dans laquelle p est la pression initiale,

[1] Il est clair que le mode d'opérer réellement la détente ne change rien au calcul et que nous pouvons supposer la détente se produisant ainsi, en bloc, sur tous les réservoirs au lieu de la considérer s'opérant partiellement dans les cylindres.

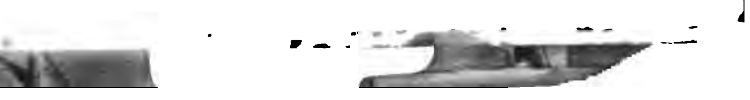
[illegible] nuisible, V le volume avant le commencement [illegible] et V_1 le volume avant la fin de la détente. Dans l'hypo[illegible] que nous avons choisie, le mètre et le kilogramme [illegible], on a $V = 147^{mc}$, $V_1 = 14[illegible]^{mc}$, $x =$ [illegible] $= 123,960$ kilog., $p' = 10,330$ kilog., $\frac{V_1}{V} =$ [illegible] $\frac{V}{V_1} =$ [illegible] Il en résulte $T_m = 28,280,730$ kilogrammètres.

[illegible] approvisionnement de force motrice contenu dans [illegible] peut avec la détente que l'on a choisie, produire un [illegible] de 28,280,730 kilogrammètres.

[illegible] de résistance du bateau peut s'évaluer par compa[illegible] des bateaux à vapeur en fer, en remarquant toutefois [illegible] qui tendent à en accroître notablement la valeur [illegible] augmente, la *dénivellation*, n'existe pas pour les corps plongés, et que la résistance directe du bateau sous-marin, [illegible] plongé entre deux eaux, doit croître seulement comme le carré de la vitesse, en conservant la valeur peu élevée du coefficient qui correspond aux faibles vitesses.

Les considérations que nous avons développées et les expériences que nous avons citées dans notre *Mémoire sur la résistance de l'eau au mouvement des corps* nous autorisent à fixer à environ 3 kilogrammes le coefficient de résistance de notre bateau sous-marin et, par suite, à 42 kilog. sa résistance pour une vitesse d'un mètre par seconde.

Supposons maintenant que l'on veuille réaliser une vitesse de $2^m,5$ par seconde ou d'environ 5 nœuds, vitesse bien plus que suffisante pour se transporter sous l'eau d'un point à un autre. Cette vitesse correspond, d'après ce qui précède, à un travail mécanique utile égal à 42 kilog. $\times$ $2^m,5^3 = 656$ kilom. Maintenant si l'on considère la simplicité du mécanisme adopté, la lenteur du mouvement des pistons correspondant à la petite vitesse dont il s'agit, le faible travail de servitude de la machine, réduit le plus souvent au seul jeu de la pompe d'expulsion, qui même coopère aussi à la locomotion, on reconnaît que le coefficient de réduction le plus probable, pour passer du travail moteur sur les pistons au travail utilisé pour la marche, est à peu près de 0,5, ce qui correspond environ à 0,8 pour la machine et à 0,625 pour l'hélice.



Avec ce coefficient, le travail moteur sur les pistons, pour une vitesse de $2^m,50$ par seconde, serait égal à 1312 kilomètres, et, comme on dispose d'un travail moteur égal à 28,280,730 kilogrammètres, il s'ensuit que cet approvisionnement de travail moteur pourra durer pendant un nombre de secondes égal à $\frac{28,280,730}{1,312} = 21,255$, ou pendant six heures de marche, en nombre rond.

Si l'on s'était borné à une vitesse de $1^m,68$ par seconde ou 3 nœuds 2 dixièmes, l'approvisionnement de force motrice aurait duré 19 heures 41 centièmes, c'est-à-dire aussi longtemps que celui d'air respirable. Avec cette vitesse, suffisante encore pour les besoins de la navigation, on aurait franchi 62 milles, c'est-à-dire la largeur de la Manche, et, pendant le trajet, la machine aurait débité exactement la quantité d'air nécessaire pour la respiration de l'équipage [1].

Mais nous n'avons là qu'un chiffre théorique, et il est nécessaire de tenir compte des pertes d'air par les fuites, les espaces morts de la machine, la manœuvre des robinets, etc., ainsi que des erreurs possibles dans l'évaluation du travail utile.

La part des pertes et des erreurs sera certainement très exagérée si nous admettons une perte égale à la moitié du volume d'air des réservoirs et une utilisation totale du travail moteur inférieure de moitié à ce que nous avons supposé, d'après les résultats d'expériences les plus authentiques [2]. Voyons ce que deviendront dans cette nouvelle hypothèse les chiffres obtenus précédemment.

L'approvisionnement de force motrice sera réduit alors de 6 heures à 3 heures.

Le travail utile devenu moitié moindre donnera une vitesse plus faible dans le rapport de $\sqrt[3]{2}$ à 1, et égale par conséquent à $\sqrt[3]{\frac{2^m,5}{2}}$ $= 1^m,986$ par seconde ou à 3 nœuds 8 dixièmes.

Or la limite actuelle de la distance à laquelle peuvent se placer des

[1] Ce calcul repose sur l'hypothèse d'une dépense constante de puissance motrice, ce qui, comme on l'a déjà vu, n'est pas rigoureusement exact.

[2] La valeur du coefficient d'utilisation totale 0,5 étant combinée avec celle du coefficient de résistance $K = 3^k,0$, on peut mettre ce coefficient sous la forme K 0,166. C'est la valeur qui convient aux grands navires, lorsque leurs machines n'ont pas une allure très rapide et que le sillage n'est pas extrêmement élevé.

La moitié de cette valeur, ou K 0,083, est un des plus faibles coefficients que l'on puisse admettre, même pour des avisos marchant à des vitesses telles que leur coefficient de résistance soit notablement augmenté par l'effet de la dénivellation.

[illegible] elle écrasera efficacement une place [illegible] ses ouvrages extérieurs [illegible] 20 minutes par le bateau sous-marin [illegible] par seconde.

[illegible] un approvisionnement [illegible] nécessaire pour l'aller et pour le retour. [illegible] d'air durerait trois fois plus long [illegible] de force motrice, si l'on pouvait [illegible]

[illegible] supposant une marche toujours uniforme. [illegible] réalité. Étudions maintenant [illegible] de la locomotion au moyen de l'air com-

[illegible] résistances relatives de notre bateau avec son [illegible] et du *Pélican* avec une hélice [illegible] l'on étudie les coefficients d'avance [illegible] plus par leurs proportions de celle [illegible] trouve que celle-ci devra donner [illegible] environ et, par conséquent [illegible] 12 [illegible]

Calculons [illegible] le travail produit sur les pistons par introduction [illegible] 12 atmosphères de pression, pendant un dixième de la [illegible] détente pendant les 9 autres dixièmes.

[illegible] par la formule $T_m = pV\left(1 + \log hyp \frac{V_1}{V}\right)$

[illegible] dans laquelle [illegible] l'on considère les trois cylindres en [illegible] pour [illegible] on aura $V = 0^{mc},011$, $p = 123,960$ kilog

$V_1 = 10V$ [illegible] p' [illegible] kilog. $\log hyp \frac{V_1}{V} = 2,302$; d'où

T_m [illegible] pour la valeur du travail moteur développé sur les pistons pendant un tour de machine.

[illegible] pour une plus grande, mais, pour opérer [illegible] bombardement [illegible] les ouvrages extérieurs de la place, il faut [illegible] établissements importants dont la plupart sont généralement [illegible] ouvrages extérieurs.

[illegible] travail [illegible] dans notre *Mémoire sur la résistance de l'eau* [illegible] pour la valeur du coefficient d'avance du bateau sous-marin [illegible] 2 mètres de diamètre, 4 mètres de pas et 0,30 de fraction [illegible]

Soit maintenant n le nombre inconnu de tours d'hélice par seconde, $n \times 3^m,12$ sera la vitesse du bateau, $42 \times n^3 \times 3,12^3$, le travail utilisé par cette vitesse et $\frac{42 \times n^3 \times 3,12^3}{0,25}$ le travail moteur sur les pistons nécessaires pour produire ce travail utile. Or ce travail moteur est aussi égal à $n \times 3,366$ kilogrammètres, d'après ce qui vient d'être dit.

On a donc l'équation $n \times 3,666 = \frac{42 \times n^3 \times 3,12^3}{0,25}$, d'où l'on tire $n = 0,812$.

L'hélice et la machine feraient donc, dans les conditions que nous avons posées, 0,812 par seconde, 48,72 tours par minute, et le bateau acquerrait une vitesse égale à $3^m,12 \times 0,812 = 2^m,53$ par seconde ou 4 nœuds 93 centièmes.

Ces résultats correspondent à une vitesse de piston de $0^m,584$ et à un travail mécanique de 2,733 kilogrammètres par seconde, ou d'environ 14 chevaux de 200 kilogrammètres.

A mesure que l'on consommera de l'air des réservoirs, la pression baissera et l'on devra augmenter l'introduction en raison inverse de la pression initiale, afin de maintenir la même pression finale de $1^o,2$.

Le poids d'air introduit restera le même pour les trois cylindres et égal à celui de $0^{mc},11$ d'air à $1^o,2$ de pression. Mais le rapport $\frac{V_1}{V}$ des volumes après et avant la détente devenant de plus en plus faible, la puissance motrice et, par conséquent, la vitesse diminueront graduellement.

D'un autre côté, les réservoirs contenant l'équivalent de 1470^{mc} à la pression de $1^o,2$, ce qui leur permet d'en fournir $1470 - 147 = 1323^{mc}$, et chaque tour de machine en consommant $0^{mc},11$, il s'ensuit que les réservoirs pourront fournir à 12,016 tours, ou à 6,008 tours seulement, si l'on suppose les pertes d'air précisément égales à la quantité utilisée par l'appareil.

Si le nombre de tours par seconde restait constamment le même et égal à 0,812, la durée de l'approvisionnement serait seulement de 7,405 secondes ou $2^h\,3^m\,25^s$. — Au bout d'une heure et demie, ou après 4,384 tours, la dépense d'air, y compris les pertes supposées, serait de $966^{mc},66$ et la pression, par conséquent, égale à

$$12^a \times \frac{1470 - 966,66}{1470} = 4^a,11.$$

Le travail moteur par tour de machine serait réduit alors à 1460 kilogrammètres, le nombre de tours par seconde à 0,535, et la vitesse du bateau à $1^m,669$ par seconde ou 3 nœuds 1/4 pour une puissance motrice sur les pistons de 781 kilogrammètres, ou d'environ 4 chevaux de 200 kilogrammètres.

Mais comme la vitesse de rotation se ralentirait graduellement, la dépense d'air comprimé serait moindre que ne l'indiquent ces chiffres, et l'on aurait la certitude de maintenir pendant deux heures environ une vitesse comprise entre trois et cinq nœuds, et dont la moyenne serait à peu près celle de quatre nœuds, à laquelle nous ont conduit déjà d'autres considérations.

Pour être complet, nous calculerons encore la vitesse maximum avec laquelle pourra avoir lieu l'abordage du bâtiment ennemi.

Au moment où le bateau sous-marin ayant surgi à la surface, le capitaine jugera le moment favorable pour attaquer, en marchant à fleur d'eau, il fera régler l'introduction de l'air dans les cylindres à son maximum, en se servant d'un réservoir dont la pression aura été ménagée à cet effet.

Supposons qu'il en résulte, pendant toute la course, une pression moyenne de onze atmosphères sur les pistons, et, par conséquent, une pression moyenne effective de dix atmosphères. — Le travail moteur développé dans un tour de machine sera exprimé par PV égal ici à

$$10 \times 10,330^{ks} \times 0^{mc},11 = 11,363^{km}.$$

Il en résultera un nombre de tours par seconde $n = 1,49$, déduit encore de l'équation $n \times 11,363 = \frac{n^3 \times 3,12^3 \times 42}{0,25}$ et, par conséquent, une vitesse du bateau égale à $1^m,49 \times 3^m,12 = 4^m,65$ par seconde, ou environ 9 nœuds. — Dans ce moment, la puissance motrice sera égale à $1,49 \times 11,363^{km} = 16,931^{km}$ par seconde, ou 84 chevaux.

Il est clair qu'on pourrait adopter, dans la construction de l'appareil du bateau sous-marin, des proportions de cylindre, d'hélice et des conditions de détente différentes de celles que nous avons préfé

rées, comme aussi choisir pour sa navigation d'autres combinaisons de durée et de vitesse que celles indiquées ici.

Il ne ressortirait pas moins avec évidence de toutes ces combinaisons qu'il est possible, facile même, de diriger sous l'eau avec une suffisante vitesse, de redoutables moyens de destruction, contre les bâtiments ennemis qui tenteraient de bombarder ou même de bloquer trop étroitement nos ports.

Pour terminer les calculs relatifs à notre bateau sous-marin, cherchons à estimer approximativement la vitesse verticale qu'il pourra prendre, par suite de la prédominance de son poids ou de sa poussée verticale. Supposons, par exemple, qu'en manœuvrant les robinets du compartiment régulateur on introduise un excès de poids de 100 kilog., constituant alors la force motrice du mouvement qui va suivre. — La résistance opposée à ce mouvement sera celle du bateau lui-même, dont il faudra considérer la section horizontale, d'une superficie d'environ 200 mètres carrés. En raison du peu d'acuité des sections verticales faites dans le bateau, on ne peut lui attribuer dans ce sens un coefficient de résistence moindre que 6 kilog. et, par suite, une résistance totale moindre que 1200 kilog. pour une vitesse d'un mètre par seconde. Et comme la force motrice constante est supposée de 100 kilog., la vitesse d'immersion ne pourra excéder

$$\sqrt{\frac{100}{1200}} = 0^{m},288 \text{ par seconde.}$$

Ainsi un excès de poids, trop considérable pour qu'on ne parvienne à l'éviter, avec un peu d'adresse et en faisant usage des repères dont il a été question, ne produirait qu'une vitesse verticale très faible.

Nous avons donc eu raison de dire qu'il sera toujours facile, au moyen des robinets dont les compartiments à eau du bateau sont munis, de le maintenir, sauf de légères oscillations, dans les limites de profondeur (de 8 à 12 mètres) qui conviennent pour sa navigation [1].

D'ailleurs, si l'expérience ne confirmait pas cette opinion, nous avons indiqué un moyen très facile de diminuer notablement la

[1] La rapidité de vitesse d'ascension qu'on observe pour le *Nautilus* ne tient qu'au peu d'étendue de sa section horizontale et à la forme sphérique de son sommet. Il n'y a pas à tirer de ce fait une conséquence applicable au bateau qui nous occupe.

vitesse verticale du bateau : c'est l'addition à sa carène d'ailerons ou surfaces horizontales planes qui en augmenteront, d'une manière marquée, la résistance dans le sens vertical.

MANŒUVRES ET AVARIES.

Notre sujet nous a déjà amené à décrire, en différentes parties de ce mémoire, les manœuvres à faire pour diriger le bateau sous-marin et pour échapper aux conséquences de ses avaries.

Résumons ici ces manœuvres et les précautions à prendre dans les diverses circonstances de son armement et de sa navigation, en lui supposant toujours pour but exclusif la défense d'un port contre des bâtiments ennemis.

Jusqu'au moment où l'on devra recourir à ses services, le bateau sous-marin conservera ses compartiments et ses réservoirs vides et seulement la quantité de lest nécessaire pour garantir efficacement sa stabilité dans le port où il demeurera amarré, sa ligne de flottaison étant un peu au-dessus de son axe et son éperon en bois ajusté, jumelé et cerclé, sans être encore garni d'un projectile.

On aura dû, à l'avance, établir des manomètres sur les parois des réservoirs à air, des jauges de niveau d'eau sur les parois des compartiments à eau et des manomètres à l'intérieur du bordé du bateau, pour mesurer sa profondeur d'immersion.

La quantité totale de lest à prendre et sa répartition auront été réglées comme nous l'avons dit, aussi, par une expérience préalable dans laquelle on aura repéré les niveaux des compartiments à eau correspondant à la navigation à fleur d'eau et à l'équilibre complet pendant l'immersion totale.

L'avance du bateau par tour d'hélice aura dû aussi être mesurée avec précision dans des conditions convenables, et la correction des compas effectuée avec soin.

L'ordre étant donné d'armer pour une attaque prochaine, on fera tomber le bateau sur l'arrière afin d'amener au-dessus de l'eau l'extrémité de son éperon et d'installer facilement son projectile et ses accessoires. On embarquera ensuite le complément du lest et des objets d'armement et, pendant ce temps, on refoulera l'air dans les réservoirs, au moyen de pompes à vapeur construites spécialement dans ce but et établies, par exemple, sur un bateau de servitude du

port. Enfin des observateurs seront placés sur un des points les plus saillants de la côte avec la mission de déterminer par des relèvements exacts la position et l'allure du bâtiment ennemi et de les signaler avec précision au bateau sous-marin, lorsque, à sa sortie de la rade, il sera sur le point de plonger.

Le bateau ayant terminé ses préparatifs dans le port et conservant ses portes ouvertes pour le renouvellement de l'air, sera remorqué par un vapeur jusqu'à la sortie de la rade, avec les précautions nécessaires pour éviter toutefois de le laisser apercevoir par l'ennemi. On fermera alors la porte du milieu M et l'on introduira l'eau, dans les compartiments destinés à la recevoir, jusqu'au niveau du repère inférieur, pour se tenir à fleur d'eau, en attendant le moment favorable pour attaquer.

Lorsque ce moment sera venu, on fermera la porte de l'observatoire P, on mettra la machine en marche, et l'on introduira l'eau dans les compartiments de l'avant et de l'arrière, de manière à amener son niveau un peu au-dessus du repère supérieur, ce qui fera descendre le bateau parallèlement à lui-même jusqu'à la profondeur d'eau voulue. On s'y maintiendra alors en conservant le niveau de l'eau dans le compartiment de l'arrière exactement à la hauteur du repère supérieur et en faisant varier le niveau du compartiment de l'avant, tantôt un peu au-dessus, et tantôt un peu au-dessous du repère supérieur, suivant le cas.

Le capitaine réglera sa route d'après la connaissance qu'il aura de la position et de l'allure de l'ennemi, de la direction et de la vitesse du courant, et enfin de la vitesse de son propre bateau. Lorsque le compteur de la machine lui indiquera qu'il a parcouru, à quelques encablures près, la distance qui le sépare de l'ennemi, il fera remonter le bateau à fleur d'eau pour reconnaître sa position, et il attaquera immédiatement en faisant développer à la machine son maximum de puissance, s'il se croit en mesure d'atteindre et de frapper efficacement le navire qui est l'objet de son attaque ou tout autre navire ennemi de même importance.

Dans le cas où, au contraire, il surgirait à une distance trop grande, il pourrait plonger encore et gagner sous l'eau une position plus rapprochée, dans une autre direction. Mais si l'on considère qu'une attaque sérieuse contre un port de guerre ne s'effectuerait qu'avec un assez grand nombre de navires, et, qu'en marchant

instantanément avec toute sa puissance, le bateau, réalisant une vitesse de 9 nœuds, surprendrait infailliblement son adversaire, on reste convaincu qu'un marin expérimenté réussira toujours du premier coup à aborder l'ennemi avant qu'il ait pu manœuvrer pour l'éviter ou faire usage de son artillerie pour le détruire.

Un instant avant le choc, le capitaine qui, placé sur le banc de quart, la tête dans l'observatoire, n'aura pas cessé de faire gouverner le bateau, donnera l'ordre de stopper, pour éviter tout accident de machine, et de remplir les compartiments à eau pour plonger aussitôt après l'explosion. A l'instant précis où le choc se fera sentir, on mettra en action la batterie électrique pour déterminer cette explosion et, aussitôt qu'elle aura eu son effet, on marchera en arrière en plongeant pour se dégager du bâtiment abordé.

Le retour au port n'offrira aucune difficulté, si, comme il est probable, aucune avarie n'est la conséquence de l'explosion.

Dès qu'on sera assez éloigné de l'ennemi pour n'avoir plus à redouter son artillerie, on pourra revenir à fleur d'eau et vider même les compartiments à eau pour s'alléger et accroître la vitesse.

Si, arrivé au port, le bateau sous-marin doit procéder à une autre attaque, il remplira de nouveau ses réservoirs à air et prendra un autre mât avec son projectile. Cette dernière opération et la réparation de l'avant, s'il est avarié, forceront peut-être à débarquer une partie du lest de l'avant pour mettre l'éperon entièrement hors de l'eau, ce qui se fera aisément, attendu la faible stabilité de forme du bateau sous-marin, lorsqu'il flotte immergé au-dessus de son axe.

Rappelons maintenant comment on pourrait obvier aux accidents et aux avaries qui surviendraient dans le mécanisme et la coque, pendant la courte navigation dont nous venons d'indiquer les principales circonstances.

La déchirure d'un réservoir à air, sans conséquence dangereuse, comme il a été dit déjà, obligerait seulement à fermer les robinets de communication entre le réservoir avarié et les autres réservoirs.

Une avarie dans un ou deux cylindres permettrait encore de marcher avec les autres ou seulement avec le troisième, en s'aidant du tambour V, manœuvré par l'équipage, pour franchir les points morts.

Un accident dans l'hélice, fort peu probable sous l'eau, trouverait

encore le bateau armé d'avirons de galère pour se mouvoir à fleur d'eau, bien lentement à la vérité.

Enfin, la mise hors de service de la pompe d'expulsion d'air, n'aurait pour conséquence que le maintien de la pression de l'air dans la chambre du bateau à une valeur égale à la pression de l'atmosphère, augmentée de celle de la colonne liquide correspondant à la profondeur d'immersion.

En ouvrant alors un robinet donnant à l'extérieur, l'air vicié s'écoulerait naturellement.

Si une grave voie d'eau se déclarait dans la coque, il faudrait aussitôt introduire de l'air comprimé dans la chambre intérieure du bateau, pour augmenter la pression et faire obstacle à l'introduction de l'eau. On viderait en même temps, au moyen de l'air comprimé les compartiments pleins d'eau, afin de s'élever aussitôt à la surface de la mer.

Enfin, dès que la pression à l'intérieur serait assez élevée, par rapport à la pression extérieure, on ouvrirait les panneaux du fond du bateau pour jeter le lest à la mer et pour vider même, par l'effet de la pression, l'eau qui se serait introduite[1].

Si, malgré ces efforts, l'eau gagnait trop rapidement, l'équipage se réfugierait dans la partie du bateau autre que celle où existerait la voie d'eau, fermerait la porte de la cloison étanche et jetterait à la mer le lest du compartiment occupé, comme il vient d'être dit, après avoir fait monter suffisamment la pression dans ce compartiment.

Enfin, dans le cas où tous ces moyens deviendraient inutiles et où le bateau serait entraîné au fond de la mer, sans laisser d'espoir de le voir remonter à flot, les portes pratiquées dans les compartiments K et W pour les faire communiquer par le bas avec la mer et par le haut avec la chambre intérieure, offriraient encore une chance de salut pour l'équipage.

En effet, on viderait d'eau celui des compartiments qui resterait à portée. On y établirait, ainsi que dans la chambre, une pression supérieure à la pression extérieure et, après s'être introduit dans ce compartiment, on ouvrirait la porte latérale donnant issue sur la mer.

[1] Il serait facile aussi d'établir des boîtes à soupapes, pour jeter le lest à la mer, quelles que soient les pressions au dedans et au dehors.

L'équipage, muni d'appareils de sauvetage, pourrait alors s'échapper en plongeant par cette porte et remonter à la surface de l'eau où ces mêmes appareils lui permettraient de se maintenir en attendant des secours.

Les dangers de la navigation sous-marine que nous avons en vue ne surpassent donc pas ceux de la navigation ordinaire, et l'on peut même dire que l'équipage d'un bateau sous-marin employé à détruire les plus gros bâtiments ennemis serait encore moins exposé à bord de ce bateau que s'il combattait dans les batteries d'un vaisseau de ligne engagé contre ces mêmes bâtiments.

Ainsi l'air comprimé qui a servi à la locomotion du bateau, à la respiration de son équipage, offre en outre de précieux moyens de salut dans les circonstances critiques.

Son emploi résout donc complètement le problème important qui nous occupe, dans les limites que nous avons posées, dès le début de ce mémoire.

RÉSUMÉ DU PROJET. — SON EXÉCUTION. — EXPÉRIENCES PRÉLIMINAIRES.

L'idée fondamentale de ce projet consiste, ainsi qu'on l'a dit en plusieurs endroits de ce mémoire, *à placer à bord de bateaux sous-marins des appareils moteurs à air comprimé, au moyen desquels on puisse emmagasiner, pour les dépenser ensuite, et le travail moteur nécessaire pour la navigation du bateau et l'air indispensable à la respiration de son équipage.*

Comme application de cette idée, nous proposons le plan d'un bateau sous-marin en tôle, long de 41 mètres, large de 6 mètres, sur environ 3 mètres de hauteur moyenne, déplaçant à peu près 350 mètres cubes et comparable, par conséquent, par ses dimensions et les dépenses de sa construction, aux avisos de 120 chevaux.

Nous proposons de munir ce bateau de réservoirs à air capables de contenir 147 mètres cubes d'air à la pression de 12 atmosphères et d'une machine à air comprimé et à hélice, capable de développer une puissance maximum de 84 chevaux pendant l'attaque.

En calculant la vitesse ainsi que la durée de l'approvisionnement d'air et de travail moteur, d'après des bases modérées jusqu'à l'exagération, nous trouvons dans cet appareil le moyen sûr de naviguer

sous l'eau, sans aucune communication avec l'atmosphère, pendant trois heures au moins, avec une vitesse variable de trois à cinq nœuds, dont la moyenne ne serait certainement pas au-dessous de quatre nœuds, et qui pourrait même, pendant quelques instants, s'élever jusqu'à neuf nœuds.

Nous proposons enfin d'opérer la destruction des bâtiments ennemis par l'explosion, dans leur carène, d'un projectile conique, creux, qui y pénétrerait par le choc du bateau sous-marin, terminé à l'avant par un éperon à l'extrémité duquel s'ajusterait ce projectile.

Une heure de marche, à la vitesse moyenne de quatre nœuds, suffirait, à la rigueur, pour donner les moyens d'opérer cette œuvre de destruction sur des bâtiments qui s'approcheraient d'un de nos ports pour le bloquer de trop près ou pour le bombarder, et notre projet fournit, comme on le voit, des ressources bien supérieures aux nécessités de l'opération.

Un bateau monté par 12 hommes et coûtant tout au plus 200,000 francs suffirait ainsi pour détruire un vaisseau de premier rang, monté par 1100 hommes et coûtant 6 à 7 millions. Mais si notre marine était pourvue de pareils engins, il est fort probable que les bâtiments ennemis seraient forcés de renoncer à toute attaque sérieuse contre nos ports pendant la guerre, et que ces ports eux-mêmes se verraient garantis à la fois des blocus hermétiques, que la vapeur a rendus possibles, et des redoutables bombardements que permettent aujourd'hui les progrès de l'artillerie navale.

L'exécution de notre projet ne présente d'ailleurs, au point de vue de la fabrication, aucune difficulté qui ne soit depuis longtemps résolue.

La coque du bateau, en tôle, se construirait comme celle d'un bâtiment ordinaire. La machine, avec ses réservoirs, ressemble, sauf de légers détails, à une machine ordinaire à haute pression. Nous nous sommes assuré d'ailleurs, auprès de constructeurs et de mécaniciens habiles, qu'il n'est rien dans notre projet que ces fabricants ne soient en mesure d'exécuter, si le département de la marine leur confie cette tâche.

Malgré la confiance que nous inspire l'exécution immédiate et complète de nos plans, nous comprenons l'utilité qu'il peut y avoir à faire précéder cette exécution d'expériences préalables sur le mode de locomotion et les moyens de destruction séparément.

En ce qui concerne la locomotion du bateau sous-marin, on pourrait faire successivement les expériences suivantes :

1° Construire un ou plusieurs réservoirs en acier fondu, destinés à renfermer de l'air comprimé à la plus haute pression possible. Construire parallèlement une pompe destinée à opérer le refoulement de l'air dans ces réservoirs. Déterminer, par des expériences précises, la pression maximum que ces réservoirs pourraient supporter sans crainte d'accident et l'importance des fuites d'air qui se produiraient à différentes pressions, enfin observer la nature des effets qui seraient la suite d'un excès de pression occasionnant la rupture de l'un de ces réservoirs ;

2° Construire une machine à air comprimé, la faire marcher en se servant des réservoirs expérimentés et étudier le rendement de l'air comprimé en travail mécanique, à différentes pressions et différentes détentes ;

3° Construire un bateau sous-marin du genre de celui que nous proposons, mais sans l'armer encore de ses moyens de destruction. Mettre à bord sa machine et ses réservoirs et l'expérimenter au point de vue de la vitesse et de la manœuvre, entre deux eaux et à fleur d'eau.

Les expériences préalables sur les moyens de destruction pourraient se poursuivre à terre, comme beaucoup d'expériences de ce genre.

Il ne serait pas difficile, en effet, de diriger sur une muraille en bois et sous différentes obliquités, un éperon semblable à celui que nous proposons, animé de vitesses variables de 3 à 5 mètres par seconde, et muni d'un projectile dont on ferait varier graduellement la grosseur et la charge ; d'expérimenter enfin le mode de déterminer l'explosion, soit par une détente, soit par une batterie électrique.

La différence des milieux dans lesquels s'exécuteraient l'expérience préparatoire et l'expérience définitive modifierait certainement les résultats, mais on pourrait être certain que les effets de destruction constatés dans l'expérience préalable seraient dépassés lorsque l'on opérerait sous l'eau contre un bâtiment ennemi.

Lorsque les deux séries d'expériences sur la locomotion du bateau sous-marin et sur les moyens de destruction proposés auront été achevés séparément, rien ne sera plus aisé que de munir le bateau de son éperon en bois et de son projectile et d'essayer les effets des

tructeurs de tout le système sur une vieille carcasse, dans une de nos rades.

Nous ne craignons pas de nous avancer trop en disant que le jour où cette carcasse aura été coulée à fond par un bateau sous-marin, la puissance navale de l'Angleterre aura subi un échec irréparable.

ESSAIS DU « PLONGEUR », BATIMENT SOUS-MARIN, EN 1863, 1864 ET 1865.

Le numéro d'août dernier de la *Revue* renferme des extraits d'un mémoire sur la navigation sous-marine présenté, en 1858, par le capitaine de vaisseau Bourgois, au ministre de la marine, alors l'amiral Hamelin. Par une dépêche du 11 février 1859, le ministre avait communiqué ce mémoire aux ports, en les invitant à présenter des projets d'exécution d'un bateau, de l'espèce indiquée dans le mémoire, et mû par une machine à air comprimé. Plusieurs ingénieurs entreprirent ce travail. Les plans de M. l'ingénieur Ch. Brun, du port de Rochefort, furent seuls approuvés par le conseil des travaux, dans le cours de l'année 1860.

Parmi les études qui, sans aboutir, jetèrent quelque lumière sur la question, nous devons citer celles de M. l'ingénieur Courbebaisse, qui proposa de faire mouvoir les gouvernails horizontaux, régulateurs de l'immersion, par le jeu de diaphragmes flexibles, placés sur les côtés du bâtiment et cédant à l'effort de la pression extérieure, variable avec la profondeur d'immersion. Cette idée fort juste en théorie, mais qui rencontrait des difficultés pratiques très sérieuses sur le *Plongeur*, en raison de sa faible vitesse et des grandes dimensions de ses gouvernails horizontaux, a été réalisée avec succès par M. Whitehead dans ses torpilles automobiles.

Pendant que s'étudiaient les plans de bateaux sous-marins, des expériences, sur l'emploi de l'air comprimé comme force motrice, étaient entreprises au Conservatoire des arts et métiers par M. Tresca, sous-directeur de cet établissement, et M. Bourgois. M. le général Morin, directeur du Conservatoire, en avait mis avec empressement les moyens à la disposition des expérimentateurs.

Ces expériences, dans lesquelles on se borna à utiliser les res-

LÉGENDE DES FIGURES

Fig. 1.

a et a'.... tuyautage de l'air.
b,b .... hublots.
c .... observatoire.
C .... porte à charnière.
d,d .... cylindres d'échappement.
e .... tuyautage de l'air.
f et g .... renflements.
h' .... barre de gouvernail.
m'm .... cloisons étanches transversales.
P .... porte communiquant avec la machine.
p'' .... porte de sortie.
s .... soupape d'échappement.
t .... mât de pavillon.
v et v'.... machines.

Fig. 2 et 3.

Coupe du bateau sous-marin.

Fig. 4.

h et i .... gouvernails latéraux.
j .... cloisons étanches longitudinales.
k .... réservoirs d'air comprimé.
l .... chambre à air.
m .... cloisons étanches transversales.
v .... machines.

Bateau sous-marin de MM. BRUN, Ingénieur de la marine, et BOURGOIS, Capitaine de vaisseau.

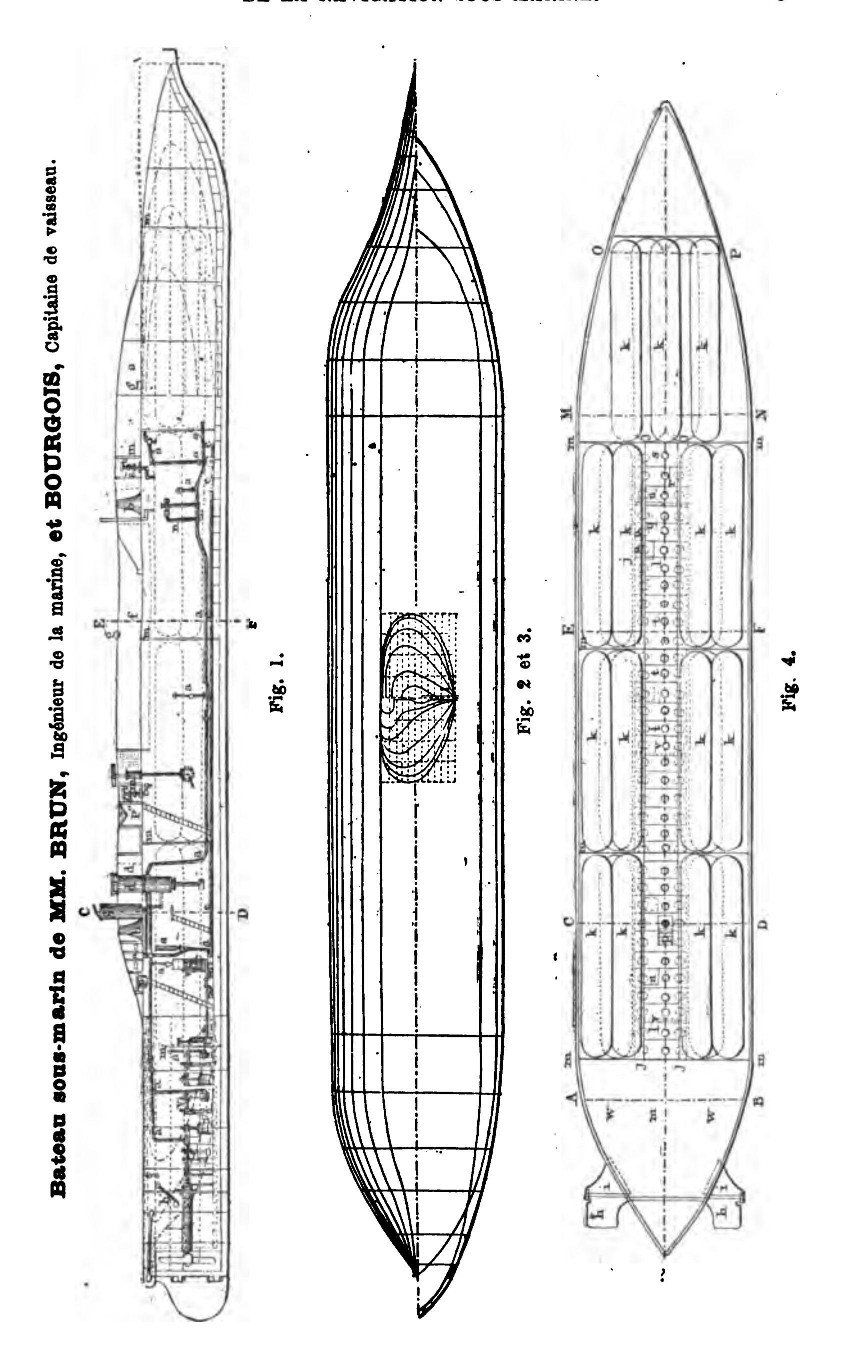


Fig. 1.

Fig. 2 et 3.

Fig. 4.

Fig. 5, 6, 7 et 10.

f et g .... renflements.
k .... réservoirs d'air comprimé.
l .... chambre à air.
j .... cloisons étanches longitudinales.
x .... gueuses.
z .... parquet étanche.

Fig. 11, 12 et 13.

(Canot de sauvetage).

a .... caissons étanches.
b .... trous d'homme.
d .... grande vis.
g .... écroux à oreilles.
G .... plaques de tôle.
i .... trous d'homme.
j .... cloisons étanches longitudinales.
o .... hublot.
o .... robinet.

Bateau sous-marin de MM. BRUN, Ingénieur de la marine, **et BOURGOIS**, Capitaine de vaisseau.

Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 13.

Fig. 5.

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 10.

sources du Conservatoire, sans construire d'appareils nouveaux, eurent lieu au moyen d'un réservoir, dans lequel on parvint à comprimer l'air jusqu'à dix atmosphères, et d'une petite machine dans les cylindres de laquelle l'air comprimé remplaça la vapeur. Elles donnèrent la preuve que l'on pouvait réduire à fort peu de chose les fuites d'air pendant la marche ou l'arrêt de la machine; que le refroidissement de l'air dilaté à la sortie des cylindres n'était pas de nature à faire obstacle au bon fonctionnement de la machine; que les courbes de détente de l'air dans les cylindres ne s'écartaient pas sensiblement de celles tracées d'après la loi de Mariotte; que l'utilisation de la force motrice s'opérait dans une proportion peu différente de celle qu'on est habitué à trouver dans la machine à vapeur; enfin, qu'aucun mécompte sensible n'était à craindre du fait de l'emploi de l'air comprimé comme moteur.

La construction du *Plongeur* à Rochefort, sur les plans de M. Ch. Brun, ayant été décidée par le Ministre, on commença dans ce port, en juin 1860, la fabrication des premières pièces. Nous allons donner de ce bateau une description sommaire, dont l'intelligence sera facilitée par les figures ci-jointes, empruntées à l'*Art naval en* 1867, de M. le vice-amiral Pâris, et pourra être rendue plus claire à quelques lecteurs, par la vue du modèle construit pour l'Exposition universelle de cette année et déposé aujourd'hui au Musée de marine du Louvre.

Le *Plongeur* est entièrement construit en tôle de fer. Sa carène, en forme de fuseau aplati, forme une surface continue et fermée. Il a les dimensions suivantes :

Longueur entre perpendiculaires	$42^{\text{m}},50$	
Largeur hors tôles	$6^{\text{m}},00$	
Profondeur, y compris la hauteur de la quille	$3^{\text{m}},00$	
Distance du sommet de l'observatoire au-dessous de la quille	$4^{\text{m}},35$	
Poids de la coque	$135^{\text{t}},00$	
— de la machine et du réservoir à air	$59^{\text{t}},00$	
— de l'eau introduite pour l'immersion	$33^{\text{t}},00$	$453^{\text{t}},20$
— de l'équipage et des objets d'armement	$13^{\text{t}},85$	
— du lest en fer	$212^{\text{t}},35$	
Surface du maître-couple immergée	$13^{\text{mc}},00$	
Hauteur du centre de gravité sur quille	$1^{\text{m}},395$	
— du centre de carène sur quille	$0^{\text{m}},772$	
Distance du centre de carène au centre de gravité	$0^{\text{m}},623$	

L'avant du *Plongeur* se termine en pointe; mais il ne porte aucun appendice destiné à l'emploi de la torpille. La question des moyens de destruction avait été réservée pour n'être étudiée qu'après celle de la navigation sous-marine. L'épine dorsale du bateau est surmontée au tiers de sa longueur, à partir de l'arrière, par une petite tourelle de $1^m,50$ de hauteur et $0^m,60$ de diamètre, destinée à servir d'observatoire pendant la navigation à fleur d'eau, et percée dans ce but de regards vitrés dans plusieurs directions.

Sur l'avant, vers le milieu de la longueur, cette épine dorsale est aplatie pour recevoir une embarcation de sauvetage, à fond plat, qui vient se superposer à la coque et s'y fixer par trois grandes vis. La partie supérieure de cette embarcation est fermée par un dôme mobile. Ce dôme se raccorde avec le sommet de la coque du bateau par une carapace percée de trous qui permettent l'introduction et la libre circulation de l'eau entre cette carapace et la coque. C'est dans le même espace que s'échappe par une soupape l'air en excès à l'intérieur du bateau. Enfin, des trous d'homme correspondant et placés deux à la partie inférieure de l'embarcation et deux à la partie supérieure de la coque, permettent, lorsqu'ils sont ouverts, de passer librement du bateau dans l'embarcation pour échapper à un danger.

L'intérieur du *Plongeur* est divisé en plusieurs compartiments par des cloisons étanches transversales et longitudinales. Les deux premiers, à l'avant, sont formés par des cloisons transversales. Le premier est entièrement vide et le second renferme un groupe de cinq réservoirs à air tronconiques. La cloison transversale qui le limite à l'arrière est à 12 mètres de l'extrémité avant du bateau. En arrière de cette cloison, règnent, sur une longueur de 22 mètres, deux cloisons longitudinales symétriquement placées, à $0^m,85$ de distance du plan médial longitudinal. En abord de chacune de ces cloisons, des cloisons transversales limitent trois compartiments renfermant chacun trois réservoirs cylindriques terminés par des calottes sphériques. Entre les deux cloisons longitudinales règne une coursive, ou chambre de manœuvre, de 22 mètres de longueur sur $2^m,60$ de hauteur, et d'un volume de près de 100 mètres cubes. L'arrière du bateau est occupé par la chambre de la machine et par deux réservoirs à eau.

Les réservoirs à air sont en tôle d'acier de 8^{mm} d'épaisseur. Ils ont $7^m,25$ de longueur et $1^m,12$ de diamètre (grand diamètre pour les réservoirs tronconiques). Leur poids total est de 45 tonneaux. Le

volume total des cinq réservoirs tronconiques de l'avant est de 30 mètres cubes, celui des dix-huit réservoirs cylindriques placés dans les compartiments latéraux, de 117 mètres cubes. Ces réservoirs étaient chargés au départ à la pression de douze atmosphères par une pompe de compression spéciale qui, embarquée sur une allège du pont, le *Cachalot*, suivait le *Plongeur* dans ses expériences.

Les réservoirs à air de chaque groupe communiquent entre eux et avec la machine à laquelle ils fournissent l'air nécessaire à son fonctionnement. Le compartiment qui les renferme sert de réservoir à eau. Il communique avec un long tuyau longitudinal, aboutissant par ses extrémités à deux prises d'eau, l'une à l'avant, l'autre à l'arrière, par lesquelles s'opère l'introduction ou l'expulsion de l'eau des réservoirs selon la manœuvre à opérer. L'introduction a lieu par le simple effet de la pression du liquide extérieur. L'expulsion s'opérait à l'origine en amenant de l'air comprimé des réservoirs sur la surface supérieure du liquide. Le volume total des réservoirs à eau était de 56 mètres cubes; mais il dépassait les besoins, et dans la plupart des essais le volume d'eau à introduire pour passer de la situation à fleur d'eau à celle d'immersion complète était seulement de 33 tonneaux.

La manœuvre des robinets au moyen desquels on remplissait ou vidait les réservoirs à eau déterminait les grands mouvements d'immersion pour naviguer sous l'eau ou d'émersion pour revenir à la surface et naviguer à fleur d'eau. Mais on avait besoin d'un instrument plus délicat pour obtenir en naviguant sous l'eau une immersion à peu près constante. Cet instrument consistait en deux cylindres verticaux placés sur l'avant de l'observatoire et communiquant par leur base supérieure avec le milieu ambiant, et par leur base inférieure avec l'intérieur du bateau Dans chacun de ces cylindres se mouvait un piston, dont la tige, située à la partie inférieure et filetée, recevait d'un volant manœuvré à bras un mouvement vertical.

En élevant ce piston on augmentait le volume du bateau immergé et l'on déterminait son ascension. En l'abaissant, on diminuait ce volume et l'on déterminait la descente. La quantité de cette augmentation ou de cette diminution de volume pouvait être connue avec exactitude par le déplacement du piston dans le cylindre.

Il fallait aussi prévoir la nécessité de remonter promptement à la

surface en cas de danger imminent, de voie d'eau, par exemple. Dans cette prévision, au-dessous du parquet étanche de la chambre de manœuvre, la coque était divisée en plusieurs petits compartiments renfermant du lest. Un certain nombre de ces compartiments renfermant 34 tonneaux de lest en vieux projectiles sphériques, étaient fermés au bas, par une porte en tôle à charnière, continuant les formes de la carène et maintenue au moyen d'une petite chaîne et d'une tige traversant le parquet étanche. Lorsqu'on voulait abandonner le lest mobile que renfermaient ces compartiments, il suffisait d'agir sur un déclic qui arrêtait la tige, et aussitôt le lest par son poids faisait ouvrir la porte et s'échappait librement. On obtenait ainsi une force ascensionnelle instantanée de 34 tonneaux qui faisait remonter le bateau à la surface. Le reste du lest était arrimé à demeure dans d'autres compartiments sous le parquet étanche et en divers endroits du bâtiment, aussi bas que possible pour obtenir une stabilité de poids suffisante. Le centre de gravité se trouvait ainsi, comme nous l'avons dit, à $0^m,623$ en contrebas du centre de carène.

La machine, située à l'arrière, dans les façons du bateau, occupait un espace de 3 mètres de longueur sur 1 mètre de largeur. Elle était à simple effet, composée de deux groupes de deux cylindres, inclinés à 45° et conjugués deux à deux sur la même manivelle.

Comme dans les machines atmosphériques, les bielles étaient attelées directement à la face supérieure des pistons. Le diamètre intérieur des cylindres était de $0^m,32$ comme la course des pistons. La machine était munie d'une détente variable. Elle faisait mouvoir une pompe d'épuisement d'eau.

L'air amené des réservoirs n'agissait que sur la face inférieure du piston. Après s'être détendu dans le cylindre, il s'évacuait dans l'intérieur même de la chambre où il servait à la respiration de l'équipage. Une soupape placée à la partie supérieure du bateau, vers le milieu, s'ouvrait de dedans en dehors pour laisser échapper l'air en excès, lorsque la pression intérieure l'emportait sur la pression extérieure, c'est-à-dire sur la pression atmosphérique augmentée de celle de la colonne liquide supérieure à l'épine dorsale du bateau.

L'hélice définitivement adoptée pour le *Plongeur* avait 4 ailes, un diamètre de 2 mètres, un pas de 4 mètres et une fraction de pas totale de $0^m,375$.

En outre du gouvernail vertical, placé derrière l'étambot et dont

la tête pénétrait à l'intérieur pour recevoir la barre, le *Plongeur* avait deux gouvernails horizontaux symétriquement placés de chaque bord à l'arrière. Ils étaient emmanchés sur un même arbre horizontal qui par son milieu pénétrait dans la coque, à l'intérieur de laquelle un banc et un treuil, manœuvrés à bras, donnaient à ces gouvernails l'inclinaison voulue. Leurs surfaces, dans la position intermédiaire qui convenait à la marche horizontale, prolongeaient celles de deux ailerons ou plans horizontaux à l'arrière du bateau. Pour descendre, on abaissait les gouvernails; pour remonter, on les élevait.

L'embarcation de sauvetage du plongeur avait 8 mètres de longueur, $1^m,70$ de largeur et $1^m,10$ de creux. Elle pouvait recueillir les 12 hommes qui formaient l'équipage du bateau, et elle était munie à ses extrémités de coffres d'air qui déterminaient son ascension et la rendaient insubmersible.

Les communications entre le pont supérieur et l'intérieur du bateau, lorsqu'il était émergé, avaient lieu par un panneau à l'avant de la machine et aussi par le sommet de l'observatoire. Lorsqu'il fallait plonger, ces ouvertures étaient fermées et leurs joints rendus étanches.

Pour diriger la route à fleur d'eau, le capitaine, à l'intérieur, gravissait quelques marches d'une échelle et montait sur une petite plateforme d'où, en passant la tête et le haut du corps dans l'observatoire, il apercevait par les regards vitrés les différentes parties de l'horizon. Il avait devant lui un compas de route et sous sa main des porte-voix pour commander les manœuvres de la machine, des gouvernails et des robinets des réservoirs.

Des manomètres à mercure et à air comprimé, en communication avec le milieu ambiant, lorsque le bateau était plongé, servaient à mesurer la profondeur de son immersion.

Des verres lenticulaires percés en assez grand nombre sur le pont répandaient à l'intérieur une clarté suffisante pour la manœuvre à fleur d'eau; mais cette clarté était trop faible pour la lecture des instruments. Il fallait y suppléer par des lampes.

Au commencement de l'année 1863, la construction du *Plongeur* était assez avancée pour qu'on pût s'occuper des expériences dont ce bateau sous-marin devait être l'objet. Une dépêche du 13 janvier constitua la commission qui devait y procéder. Elle était composée de MM. Bourgois et Brun. Un lieutenant de vaisseau, M. C. Doré, fut

plus tard désigné pour commander, pendant les essais, le bâtiment qui restait entre les mains de la direction des constructions navales.

Avant d'être montés à bord, les réservoirs à air et la machine avaient été expérimentés dans les ateliers. La machine essayée au frein de Prony, à des pressions variables, avait donné pour mesure de son travail utile la formule $T_m = 0{,}775\,(p - 0^a{,}835)$ dans laquelle p est, en atmosphères, la pression moyenne accusée par les indicateurs.

Le *Plongeur* fut lancé le 16 avril 1863. Le 8 juin suivant, on procédait à une expérience de machine à 4 amarres, au moyen de 8 réservoirs d'un volume total de $48^{m3}{,}84$, dans lesquels la pression de l'air avait été portée à 12 atmosphères.

En 17 minutes, la pression descendit à $1^a{,}5$, le travail développé de 68 à 6 chevaux de 75 kilogr., et la pression effective sur les pistons de $5^a{,}25$ à $0^a{,}84$.

Le nombre total de tours fut de 1599. L'introduction de 1/10e au début avait été portée à 8/10es à la fin de l'expérience, et le rapport du volume d'air utilisé au volume d'air dépensé avait varié avec cette introduction de 0,683 à 0,822. Ni la chaleur produite pendant le chargement des réservoirs, ni le refroidissement de l'air évacué par la machine n'avaient fourni matière à quelque incident ou quelque remarque.

Le 10 juin, le *Plongeur* étant immergé au tirant d'eau de $2^m{,}52$, qui correspondait à un maître-couple de $9^m{,}40$; on fit une expérience de navigation en rivière, entre Rochefort et Charente, sur un parcours de 5,750 mètres. Un incident avait empêché de porter la pression dans les réservoirs au delà de 10 atmosphères trois quarts. La mer était étale, la brise d'Ouest contraire à l'aller et favorable au retour.

La remonte dura une heure pendant laquelle on utilisa l'air de 11 réservoirs cubant $67^{m3}{,}54$. La descente dura $1^h\,2^m$. On y employa 12 réservoirs d'un volume de $73^{m3}{,}6$, dans lequel la pression était de $10^a{,}25$ au départ. On conservait encore un approvisionnement de 36^{m3}, à 3 atmosphères de pression, lorsque la crainte d'un abordage obligea d'échouer le *Plongeur* dans le voisinage de son poste.

La machine avait donné en moyenne 36 tours par minute, pendant chaque parcours, et la vitesse moyenne avait été de 3 nœuds; mais elle avait été influencée dans un sens défavorable par l'enroulement

d'une corde dans l'hélice, et par les sinuosités de la route faite pour éviter de nombreux navires dans le chenal. On constata cependant que le bateau gouvernait bien et que le fonctionnement de la machine ne laissait rien à désirer.

Alors commencèrent, dans un bassin du port de Rochefort, les expériences d'immersion et d'émersion qui devaient précéder celles dont le *Plongeur* allait être l'objet en pleine mer.

Ce bassin avait 130 mètres de longueur et pouvait dans certaines marées offrir une profondeur d'eau de $6^m,40$.

Pour éviter les conséquences dangereuses des accidents qui étaient à prévoir durant des expériences sans précédents, on avait établi vers le milieu du navire un tuyau de cheminée communiquant par sa partie inférieure avec l'intérieur du bateau, et débouchant au-dessus de la surface de l'eau lorsque le *Plongeur* était entièrement immergé dans le bassin. Une trappe à joints étanches fermait la communication de la cheminée avec l'intérieur, lorsqu'on voulait se placer dans les conditions des expériences en mer; un danger survenant, on ouvrait cette trappe et l'équipage pouvait évacuer le bateau en grimpant dans cette cheminée, dont l'intérieur, garni d'échelons, avait un diamètre suffisant pour le passage d'un homme.

L'utilité de cette disposition se montra dans une expérience qui avait pour objet d'étudier l'action de l'air comprimé sur l'organisme des gens de l'équipage. On avait constaté qu'au-dessous de 2 atmosphères, et à la condition d'éviter une chute trop brusque de pression, la compression de l'air n'avait pas d'influence sensible sur les organes. Ceux de l'ouïe étaient seuls légèrement affectés lorsque l'ouverture de la soupape d'évacuation de l'air en faisait baisser trop rapidement la pression à l'intérieur.

Dans ce cas aussi se produisait un singulier phénomène. Une brume épaisse remplissait la chambre de manœuvre. Elle était évidemment produite par le refroidissement de l'air dilaté et la condensation de la vapeur d'eau, due à l'haleine des hommes enfermés dans cette chambre. Dans l'une de ces expériences où, après avoir immergé le bateau, l'on avait fait monter la pression à l'intérieur, un des verres lenticulaires qui donnaient du jour céda à cette pression et fut projeté à l'extérieur. L'air s'échappa d'abord par l'ouverture; puis l'eau commença à envahir le navire, malgré les efforts faits pour boucher le trou qui lui donnait accès. L'ordre fut alors donné d'ouvrir la

trappe de la cheminée. L'équipage, homme par homme, défila dans cet étroit passage et fut recueilli au dehors par une embarcation. L'alarme avait été donnée par la projection d'une grosse gerbe liquide au moment où le verre lenticulaire avait cédé, et aussitôt les pompes du bassin, qu'on tenait prêtes, avaient commencé à jouer pour le vider.

Quelques heures après, le *Plongeur* était mis à sec, et les mesures étaient prises pour rendre impossible le retour de cet incident, qui avait beaucoup ému les spectateurs, sans ébranler la confiance du personnel employé aux expériences. Celles-ci recommencèrent quelques jours après sans donner lieu à de nouveaux accidents. Mais elles eurent pour résultat de faire apporter d'utiles modifications aux procédés d'immersion et d'émersion. Les réservoirs d'eau formés par les compartiments latéraux supportaient mal, en raison des faces planes de leurs cloisons, l'excès de pression nécessaire pour les vider promptement.

On transforma deux réservoirs à air tronconiques de l'avant en réservoirs à eau destinés à être vidés par la pression. En outre, on établit un petit-cheval, mû par l'air comprimé, et que l'on mit en communication avec les compartiments servant de réservoirs à eau pour les vider au besoin. Ce petit-cheval pouvait aussi vider l'eau de la cale plus promptement que la pompe de la machine.

Le 5 septembre eut lieu dans ces conditions nouvelles une expérience d'immersion et d'émersion qui donna des résultats satisfaisants. Le lendemain, l'embarcation de sauvetage ayant été mise en place, on l'expérimenta en coulant le *Plongeur* jusqu'à ce que le niveau de l'eau atteignît, sans le dépasser, le bord du canot.

L'équipage y ayant été embarqué et les trous d'homme du bateau et du canot fermés, on manœuvra les vis qui les liaient ensemble, en commençant par celles des extrémités. Lorsque les filets de ces vis furent dégagés de leurs écrous, le canot obéissant à la force ascensionnelle s'éleva et prit sa position d'équilibre à la surface de l'eau.

Le 7, on fit encore une expérience de manœuvre des réservoirs à air et à eau, pour produire les mouvements d'immersion et d'émersion, et les résultats montrèrent qu'on pouvait désormais se passer de la cheminée de sauvetage, qui avait donné une grande sécurité au début. Elle fut démontée et le trou qui y donnait accès fermé avec soin.

Enfin, le 12 septembre, eut lieu la dernière expérience dans le bassin de Rochefort, qui résumait les précédentes. Nous allons en donner le récit circonstancié, emprunté au rapport officiel.

Les essais ont eu d'abord pour but d'étudier l'influence du fonctionnement de l'hélice sur l'assiette du bateau submergé. Pour cela, le *Plongeur* étant placé, l'arrière sur une extrémité du bassin, on l'a immergé, en remplissant les réservoirs d'eau, jusqu'à ce que son épine dorsale affleurât le niveau du bassin dont la profondeur était ce jour-là de $6^m,05$. On a fait marcher alors en avant, en laissant dans leur position normale, horizontale, les gouvernails régulateurs de l'immersion, et le *Plongeur* a parcouru la longueur du bassin; c'est-à-dire environ 80 mètres. Le premier effet du fonctionnement de l'hélice a été de faire tomber le *Plongeur* sur l'arrière et d'immerger une partie de l'observatoire. Le bateau a repris ensuite peu à peu son assiette.

Dans un second parcours, les gouvernails régulateurs ayant été relevés, l'immersion de l'arrière a été jusqu'à couvrir presque entièrement l'observatoire. Dans un troisième parcours, leur inclinaison ayant changé de sens, l'arrière a été soulevé malgré l'action de l'hélice et l'observatoire a complètement émergé.

Après ces trois courses on a introduit encore de l'eau dans les réservoirs pour amener le bateau à une situation d'équilibre entre deux eaux, et lorsque les indications du manomètre de profondeur ont fait penser que cette condition était réalisée, on a encore parcouru la longueur du bassin en marchant en avant. Les indications du manomètre qui accusaient une profondeur d'immersion moyenne se sont maintenues pendant le parcours, et aucun changement sensible dans l'assiette du bateau ne s'est manifesté à l'intérieur.

Mais il résulte des observations faites à l'extérieur par M. le sous-ingénieur Lebelin de Dionne, que le bateau avait de légères oscillations de tangage qui faisaient découvrir d'une petite quantité, tantôt l'avant de son épine dorsale, tantôt le sommet de son observatoire Après avoir dans ces conditions parcouru à l'estime une partie du bassin, le *Plongeur* a repris son poste en marchant en arrière. Pendant ce parcours, il est resté complètement horizontal, le sommet de l'observatoire émergé d'environ 10 centimètres.

On a procédé alors à des essais d'immersion et d'émersion par l'introduction de l'eau dans les réservoirs. Les expériences n'ont pas

indiqué que les mouvements fussent rendus sensiblement plus vifs par la suppression de la cheminée. Il est vrai que le défaut de profondeur du bassin ne leur permettait pas de s'accélérer, et que les expérimentateurs avaient acquis plus d'habileté dans la manœuvre. L'échouage avait lieu sans secousse sensible. Il était même suivi de plusieurs oscillations verticales accusées par les manomètres. Pour remonter à la surface on a fait fonctionner le petit cheval qui a dû d'abord expulser une petite quantité d'eau en excédent. Après quoi, la remonte du *Plongeur* s'est effectuée par un mouvement régulier, avec une vitesse qu'on peut évaluer approximativement à $0^m,30$ par minute.

Après ces essais, le bâtiment étant plongé de nouveau, on a fait jouer la soupape d'échappement de l'air qui a fonctionné avec facilité sous l'effort du léger excès de la pression de l'air à l'intérieur sur celle du milieu ambiant.

Cette expérience n'a offert qu'une seule circonstance méritant d'être signalée. Le bateau étant à peu près en équilibre au fond, l'ouverture de la soupape d'échappement de l'air a suffi pour en déterminer le mouvement ascensionnel; ce que l'on a cru pouvoir expliquer en disant qu'une petite quantité d'eau accumulée au-dessus de la soupape avait été projetée avec l'air en excès.

Pour compléter l'exécution du programme de cette séance, il restait à opérer l'émersion du *Plongeur* en lâchant son lest mobile; mais l'impossibilité où l'on s'est trouvé de lâcher plusieurs déclics, a fait penser que des coincements ou des oxydations s'étaient produits et empêchaient le bon fonctionnement de la plupart de ces mécanismes.

Il fut résolu, en conséquence, qu'on échouerait le *Plongeur* dans le bassin, à sec, pour connaître exactement la nature de l'obstacle opposé à la chute du lest mobile, et pour opérer les modifications ou réparations dont la nécessité serait démontrée. L'examen qui a été ainsi fait a montré que les chaînes de suspension des trappes mobiles à charnière, coincées par les projectiles, soutenaient encore ces trappes après qu'on avait lâché les déclics. On y obvia en isolant ces chaînes par des manchons.

Les expériences dans le bassin étaient complètement terminées. Elles avaient appris tout ce qu'on pouvait conclure d'expériences faites dans un espace aussi limité que le bassin de Rochefort. Elles étaient satisfaisantes en ce qui concernait les manœuvres d'immer-

sion et d'émersion et le fonctionnement de l'appareil moteur; mais elles laissaient planer des doutes sur la possibilité de maintenir le bateau à une profondeur constante, au repos ou en marche.

Sur ces entrefaites, l'un des membres de la Commission fut désigné pour prendre part aux travaux de celle qui, embarquée sur l'escadre cuirassée de la Manche, devait, sous la présidence du vice-amiral Penaud qui la commandait, entreprendre à la mer une série d'études sur les nouveaux types de bâtiments composant cette escadre.

En février 1864, ces études étaient terminées et toutes les dispositions prises pour continuer à la mer les essais du *Plongeur*. L'aviso la *Vigie*, commandé par M. le lieutenant de vaisseau de la Planche, avait été mis, dans ce but, à la disposition de la Commission. Le 11 février il prit à la remorque le *Plongeur* et l'allège le *Cachalot* qui portait la pompe de refoulement de l'air, et servait aussi à caserner l'équipage du *Plongeur*. On alla mouiller à *Port-des-Barques*, à l'embouchure de la Charente.

Le lendemain, le vent ayant passé au Sud, et le baromètre baissant, il y avait peu d'espoir d'opérer avec une mer calme sur la rade de l'île d'Aix. On se décida à aller attendre à la Rochelle le retour du beau temps et à faire quelques expériences préparatoires dans le bassin à flot de ce port.

La rade de la Palisse, à quatre milles de la Rochelle, paraissait offrir aussi pour les expériences ultérieures, un lieu plus sûr et moins exposé à la mer et aux courants que la rade de l'île d'Aix.

La *Vigie* prit donc le *Plongeur* à la remorque et le conduisit sur la rade de la Palisse pour y attendre l'ouverture des portes du bassin de la Rochelle. Le vent avait fraîchi, la houle commençait à grossir. Le *Plongeur*, monté par M. Doré et 12 hommes d'équipage, avait fermé tous ses orifices. On gouvernait en observant par les verres de la tourelle que les embruns des lames couvraient fréquemment, et l'on n'éprouvait que de faibles mouvements de roulis, qui ne dépassaient pas le quart de ceux de la *Vigie*. Enfin, l'heure de la marée étant arrivée, les deux bâtiments entrèrent dans le port de la Rochelle, où le *Cachalot* les avait précédés à la voile.

Le bassin de la Rochelle a une longueur de 300 mètres, beaucoup plus grande que celle du bassin de Rochefort; mais sa profondeur d'eau était à peu près la même et voisine de 6 mètres. Il est alimenté d'eau salée, tandis que celui de Rochefort se remplissait d'eau douce

ou tout au plus saumâtre. Il y avait donc une nouvelle étude à faire des conditions d'équilibre du bateau.

Le 14 février on procéda à une expérience d'immersion et d'émersion, dont le but principal était de régler l'assiette du *Plongeur* dans l'eau salée. Lorsque l'immersion ne laissa plus paraître que le sommet de l'observatoire au-dessus de la surface de l'eau, on rectifia l'horizontalité du *Plongeur* au moyen de lest volant, et l'on nota la hauteur et le volume approximatifs de l'eau dans chacun des réservoirs. Ils renfermaient alors 33 tonneaux et demi. On manœuvra alors la manivelle du cylindre régulateur de façon à faire descendre lentement son piston et à produire une immersion plus complète. Lorsque le mouvement de descente commença à s'accuser, on chercha à l'enrayer en faisant remonter le piston du cylindre régulateur. On crut y être arrivé lorsqu'on vit le *Plongeur* immobile à 80c du fond, indiqué par l'échelle du bassin à 6 mètres au-dessous du niveau de l'eau. Mais ce n'était qu'une illusion provenant de l'exhaussement du fond par l'accumulation de la vase.

En réalité, le *Plongeur* était échoué sur un lit si doux, qu'aucune secousse n'avait été sentie, aucun mouvement du mercure des manomètres aperçu. Pour remonter, on fit agir le petit cheval. Son effet ne se manifesta qu'au bout de 75 secondes, et lorsque le *Plongeur* remonta à la surface il prit, après plusieurs oscillations verticales, une position d'équilibre dans laquelle tout l'observatoire était découvert. La répétition de la même expérience donna les mêmes résultats.

Le lendemain 15, le temps étant toujours mauvais et la mer grosse dehors, on fit dans le bassin deux parcours d'une base de 100 mètres pour mesurer la vitesse. Le bateau était immergé jusqu'à l'observatoire et l'on gouvernait sur un alignement, en regardant par les verres. En mettant en marche, l'observatoire fut un instant couvert d'eau. L'usage des gouvernails horizontaux le fit émerger, mais les oscillations qui se produisirent eurent pour effet, dans le premier parcours, de cacher l'alignement et obligèrent à stopper. On parvint dans le second parcours à cheminer régulièrement, et la base de 100 mètres fut parcourue en 77 secondes. Le nombre de tours d'hélice étant de 63, il en résultait une avance par tour de $1^{m},60$ seulement qui, rapprochée du pas de 4 mètres, indiquait clairement qu'en arrivant sur la base, le *Plongeur* n'avait pas encore acquis sa vitesse

normale. Le bassin de la Rochelle n'avait pas une étendue suffisante pour les essais de ce bateau sous-marin.

Enfin le 18, le temps s'étant mis au beau, on put prendre la mer. La *Vigie* remorqua le *Plongeur* dans le détroit situé entre la partie orientale de l'île de Ré et le continent, où la profondeur de l'eau atteignait 10 mètres. La première expérience avait pour but l'étude de l'équilibre du *Plongeur* entre deux eaux, au moyen de la manœuvre des pistons des cylindres régulateurs, après l'immersion de l'observatoire, dont le volume égalait celui des deux cylindres. On devait aussi se rendre compte de l'étanchéité de la coque lorsque le *Plongeur*, ne conservant à l'intérieur que la pression d'une atmosphère, serait échoué sur le fond et soumis à toute la pression d'une colonne liquide de près de 10 mètres, en outre de la pression atmosphérique. L'existence d'un clapotis très sensible fit d'abord obstacle à une immersion graduée.

On croyait n'avoir diminué le volume du bateau que de la quantité strictement nécessaire pour déterminer un commencement d'immersion, lorsque le mouvement de descente se produisit avec une vivacité à laquelle les expériences antérieures dans les bassins n'avaient pas préparé. Les volants des régulateurs furent aussitôt manœuvrés pour arrêter ce mouvement; mais à mesure que le *Plongeur* s'enfonçait, les hommes chargés de les manœuvrer rencontraient une plus grande résistance. Leurs efforts devinrent impuissants et le *Plongeur* toucha le fond sans secousse, environ une minute après que le mouvement de descente avait commencé. On n'observait, malgré l'accroissement de la pression extérieure, aucune infiltration dans les parois de la coque. Pour opérer la remonte, on fit pomper par le petit cheval l'eau des réservoirs, dont le centre de gravité est un peu sur l'arrière du milieu du bateau. Après quelques minutes, l'arrière du *Plongeur* remonta à la surface, mais l'avant resta échoué. Il suffit d'ailleurs de porter quelques gueuses de lest de l'avant à l'arrière pour que l'avant aussi remontât à la surface et que le *Plongeur* reprît son assiette horizontale, l'observatoire hors de l'eau. Ce résultat n'était pas satisfaisant. On recommença la même expérience en apportant encore plus de soin à modérer l'immersion.

La vitesse de descente n'excéda guère 4 mètres par minute. Il fut cependant impossible d'arrêter ce mouvement à temps. Le bateau toucha le fond et ne put remonter qu'après que l'on eut fait fonction-

ner le petit-cheval. Il se releva horizontalement cette fois. L'équilibre entre deux eaux ne pouvait être obtenu par les moyens dont on disposait. Il restait à l'obtenir en marche, si la chose était possible; mais la chute du jour mit fin à l'expérieuce. Pendant la nuit, le vent fraîchit du N.-E.

Le lendemain, il tombait de la neige et la température avait trop baissé pour permettre de continuer des expériences de cette nature. D'autre part, à l'embouchure de la Charente, bien abritée contre les vents d'amont, les hautes mers, favorables aux expériences, commençaient à avoir lieu le jour. On jugea donc convenable de regagner le port des barques et de s'y tenir prêt à opérer dès le retour du beau temps.

Le 19, la *Vigie* prit de nouveau le *Plongeur* à la remorque et le conduisit au mouillage du port des barques, où il fut rejoint par le *Cachalot*. Le 21, les circonstances étant devenues favorables, on voulut mesurer la vitesse du *Plongeur* naviguant sous l'eau, à l'exception de l'observatoire. On choisit pour base la distancs de 965 mètres qui sépare la bouée des Fontenelles de celle des Moullières, à l'embouchure de la Charente, et le *Plongeur* l'avait parcourue avec une vitesse initiale d'environ 5 nœuds, lorsqu'en évoluant pour refaire le même parcours en sens inverse, il toucha sur la pointe du *Fort Vaseux*, alors recouvert par la marée.

Le peu de hauteur de l'œil de l'observateur au-dessus de l'eau rendait très difficile l'appréciation de la distance à une côte noyée. On expulsa aussitôt une trentaine de tonneaux des réservoirs; mais cela fut insuffisant, et l'on ne put deséchouer le *Plongeur* qu'à la marée du lendemain, après en avoir retiré une trentaine de tonneaux de lest. Le 23, dans l'après-midi, les réservoirs à air ayant été rechargés et toutes choses remises en état, le *Plongeur* recommença la même expérience et effectua trois parcours en sens alternativement inverses de la base indiquée ci-dessus.

Pour la sécurité du bateau et des hommes, on avait laissé sur son pont diverses installations, telles que chandeliers de batayolles, chaînes de remorque, etc., de nature à nuire à la vitesse; mais, comme d'autre part, l'observatoire et une partie de l'épine dorsale étaient encore hors de l'eau, on peut admettre qu'il y avait à peu près compensation et que les vitesses observées ainsi à fleur d'eau ne dif-

féraient guère de celles qui auraient été obtenues si le bateau avait entièrement immergé.

On n'avait employé pendant l'expérience que 15 réservoirs à air, d'un volume total de $90^{m3},94$. Au début du parcours, la pression y était de neuf atmosphères trois quarts, l'introduction de quatre dixièmes et les valves ouvertes de façon à faire donner à la machine une cinquantaine de tours. A mesure que la pression baissait, on augmentait l'introduction et on ouvrait les valves. A la fin du troisième parcours, la pression était tombée à deux atmosphères et demie et la machine approchait de la limite de son effet. Pour tourner, après chaque parcours, on maintenait la machine à peu près à l'allure qu'elle avait eue sur la base. Les évolutions se faisaient avec une extrême facilité.

Voici le tableau des résultats observés pendant ces trois parcours, dont les deux premiers ont été effectués avec un léger reste de flot, favorable à la vitesse dans le premier, contraire dans le second et le troisième avec un commencement de jusant contraire.

NUMÉRO DU PARCOURS.	HEURES		INTERVALLE.	NOMBRE DE TOURS de machine				PRESSION en atmosphères aux réservoirs		VITESSE du parcours en nœuds.	AVANCE PAR TOUR D'HÉLICE en mètres par seconde.	COEFFICIENT DE RECUL.
	du commencement.	de la fin.		comptés au commencement.	comptés à la fin.	durant le parcours.	par minute.	au commencement.	à la fin.			
1	$3^h 45^m 5^s$	$3^h 51^m 55^s$	410^s	1 368	1 706	338	49,46	$9^a,75$	$8^a,40$	$4^n,59$	$2^m,85$	0,288
2	$4^h 2^m 20^s$	$4^h 11^m 45^s$	535^s	2 201	2 611	410	45,98	$6^a,60$	$5^a,20$	$3^n,50$	$2^m,35$	0,412
3	$4^h 27^m 45^s$	$4^h 40^m 20^s$	755^s	3 230	3 593	735	28,84	$3^a,25$	$2^a,25$	$2^n,25$	$2^m,65$	0,338
Moyenne des deux premiers parcours..........							47,72	»	»	$4^n,04$	$2^m,60$	0,350

Des chiffres de cette expérience, il est facile de conclure ceux qui peuvent exprimer les facultés de locomotion du *Plongeur*. S'il avait utilisé les 147^{m3} de ses réservoirs au lieu de 91 seulement, la durée totale de sa navigation aurait été portée de $55^m 15^s$ à $1^h 28^m 24^s$. On peut, en outre, admettre que si la pression dans ses réservoirs avait été à l'origine de 12 atmosphères au lieu de $9^a,75$ seulement, auquel cas on aurait utilisé une chute de $12^a,0 - 2^a,25 = 9^a,75$, cette durée se serait accrue dans le rapport de $9^a,75$ à $9^a,75 - 2^a,25$ ou $7^a,5$,

ou de 1,3 à l'unité. Elle aurait été alors de $1^h 54^m 30^s$ ou deux heures environ, en tenant compte de la pression qui pouvait encore être utilisée à la fin du troisième parcours. Quant à la vitesse qui a été de 4 nœuds en moyenne, pendant les deux premiers parcours, elle se serait relevée avec la pression de 12 atmosphères, ce qui aurait compensé la réduction qu'elle a subie pendant le parcours final. De sorte que deux heures de marche à 4 nœuds de vitesse moyenne, soit un parcours de huit milles, telle était approximativement la faculté de locomotion du *Plongeur*, déduite de cette expérience.

La nuit et la baisse de la marée y mirent fin ce jour-là.

L'expérience du lendemain, 24 février, a eu pour but de rechercher si le *Plongeur* pouvait réaliser, en marche, cet équilibre entre deux eaux qu'on n'avait pu obtenir au repos, dans les expériences du 18 faites au large de La Rochelle. A l'étale du flot, par une mer calme, le bateau a été conduit par la *Vigie* sur le chenal de la barre, par des fonds de 7 à 8 mètres, à mer haute. A $4^h 25^m$, on a mis en marche, en l'immergeant graduellement, jusqu'à ne laisser que le sommet de l'observatoire hors de l'eau, et on a gouverné au N.1/4N.O. dans la direction du chenal. A $4^h 59^m$, on a manœuvré pour plonger, au moyen des gouvernails horizontaux et en abaissant le piston d'un des cylindres régulateurs. A $5^h 0^m 35^s$ le manomètre indiquait une colonne d'eau de $2^m,40$ au-dessus du pont; ce qui plaçait le dessous de la quille à environ $1^m,60$ du fond.

Pour arrêter le mouvement de descente, on manœuvra les gouvernails horizontaux et, dans l'impuissance de faire remonter à la main les pistons des cylindres régulateurs, on chassa, au moyen de la pression de l'air, l'eau des réservoirs de l'avant. Le *Plongeur* remonta alors à la surface jusqu'à découvrir l'observatoire. On stoppa pour se débarrasser d'un excès de pression de l'air à l'intérieur, et l'on remit de l'eau dans les réservoirs d'où l'on en avait expulsé, avant de recommencer l'expérience.

La profondeur était encore d'environ 7 mètres. On remit en marche et on plongea comme précédemment, en cherchant toutefois à obtenir les mouvements d'ascension et de descente avec de moindres quantités d'eau introduites ou expulsées. Le *Plongeur* descendit jusqu'à toucher le fond, et remonta aussitôt par le double effet des gouvernails horizontaux et de l'expulsion d'une petite quantité d'eau. Il oscilla pendant $4^m 35^s$ entre deux profondeurs correspondant à des colonnes

de $1^m,40$ à $1^m,60$ au-dessus du pont. Puis la tendance à remonter s'accusant, on baissa le piston d'un des régulateurs, ce qui eut pour effet un nouvel enfoncement graduel du bateau, auquel on obvia un instant par la manœuvre des gouvernails horizontaux. Mais un nouveau commencement de descente s'étant manifesté, et le pont se trouvant à $2^m,10$ au-dessous du niveau de la mer, on eut recours à l'expulsion de l'eau des réservoirs de l'avant, qui, malgré la précaution de ne l'opérer qu'avec lenteur, ramena le *Plongeur* à la surface.

Pendant que toute l'attention était dirigée vers la manœuvre intérieure, le jusant avait commencé, et le *Plongeur* avait dérivé sur des fonds plus petits, au bord du chenal. Lorsqu'une troisième fois il plongea en marche, la profondeur de l'eau n'était plus guère que de 5 mètres. Le fond était de vase très molle. Pendant quelque temps le *Plongeur* chemina en glissant sur ce fond sans qu'à l'intérieur on eut la sensation de le toucher. On eut donc l'illusion d'avoir réalisé le problème cherché d'équilibre.

Cette illusion ne fut pas de longue durée; car l'excès de pression à l'intérieur ayant fait lever la soupape d'évacuation, et chassé une petite quantité d'eau contenue dans sa boîte, le *Plongeur* remonta à la surface. On communiqua alors avec la *Vigie* qui suivait tous les mouvements du *Plongeur*, accusés par une tige verticale en fer, surmontée d'un petit pavillon et fixée sur le pont de ce bateau. La sonde jetée n'ayant indiqué que 5 mètres, aucun doute ne pouvait subsister sur ce point que le *Plongeur*, au lieu de s'être maintenu en équilibre entre deux eaux, avait glissé sur le fond. La baisse de l'eau et la nuit empêchèrent de continuer ce jour-là les expériences. La *Vigie* revint au mouillage.

Le *Plongeur* s'amarra sur ce bâtiment et fut accosté de l'autre bord par le *Cachalot*, dont la pompe de compression fut aussitôt mise en action pour remplir les réservoirs à air du *Plongeur*, en vue d'une autre expérience le lendemain. Mais le hasard en préparait une fort différente de celle à laquelle on songeait. C'était l'époque des grandes marées. Un fort courant de jusant avait fait monter l'eau à l'avant, fort près du trou par lequel le tuyau de refoulement de l'air s'introduisait dans le navire, et avait même dérangé les torons qui bouchaient cet orifice. Peu à peu le clapotis avait fait entrer une certaine quantité d'eau dans le bateau. Lorsqu'on s'aperçut du danger, il devenait imminent.

L'avant du *Plongeur* amarré sur la *Vigie* lui faisait donner la bande en s'enfonçant à vue d'œil. Il fallait, pour éviter un désastre, recourir à des moyens prompts et énergiques. L'ordre fut donné de lâcher les déclics, qui retenaient le lest volant, et exécuté aussitôt. L'avant du *Plongeur* se releva immédiatement, et tout danger fut écarté; mais les expériences étaient interrompues. Il fallait que, pour reprendre un nouveau lest, le *Plongeur* rentrât à Rochefort et passât au bassin.

Le moment était venu d'examiner les résultats des expériences faites, d'en tirer les conséquences qu'elles comportaient, et de décider si elles devaient être continuées et dans quelles directions.

Les expériences faites avaient permis de constater que l'exécution de la coque, du réservoir à air et de la machine et le fonctionnement de celle-ci ne laissaient rien à désirer: que l'embarcation de sauvetage et le système de déclics pour lâcher au besoin le lest mobile répondaient à leur destination; que la stabilité du *Plongeur* dans tous les sens, après comme avant son immersion complète, était suffisante; que le bateau immergé jusqu'à ne laisser paraître au-dessus de l'eau que le haut de l'observatoire et les verres par lesquels on regardait pour gouverner, évoluait bien et pouvait être facilement dirigé vers le but à détruire, la nuit, sans être aperçu; qu'à cette allure, comme sous l'eau, le *Plongeur* pouvait naviguer pendant environ deux heures à des vitesses de quatre nœuds en moyenne[1]; que dans les mêmes conditions de durée d'approvisionnement et de vitesse, mais avec une moindre certitude de direction il pouvait, par une profondeur d'eau ne dépassant pas beaucoup 10 mètres, et par un fond régulier, de sable ou de vase, s'avancer vers le but à détruire en glissant et rebondissant sur le fond; que le fonctionnement de la machine à air ne faisait éprouver aucune gêne sensible à l'équipage du bateau; que les mouvements d'immersion et d'émersion par l'introduction et l'expulsion de l'eau des réservoirs étaient possibles et même faciles, mais que malgré les modifications apportées au système pendant le cours des expériences, ces mouvements ne s'obtenaient pas avec assez de promp-

[1] Le mémoire original qui a servi de point de départ aux expériences prévoyait une vitesse comprise entre *trois et cinq nœuds, et dont la moyenne serait à peu près de quatre nœuds.*

titude pour combattre à temps les mouvements d'ascension ou de descente qui venaient à se déclarer, et pour maintenir le *Plongeur* en équilibre entre le fond et la surface; qu'il en était de même de l'action des gouvernails horizontaux, durs et lents à manœuvrer, parce qu'ils n'étaient pas équilibrés autour de leur axe horizontal et dont l'effet, en raison de la faible vitesse du bateau, ne se faisait que tardivement sentir; que, dans ces conditions, la recherche de l'équilibre entre deux eaux aurait exigé de la part du chef et de l'équipage une attention et une présence d'esprit trop soutenues pour qu'il leur fût possible de mener à bien une opération de guerre aussi délicate que la destruction d'un bâtiment ennemi; qu'ainsi le seul problème de l'équilibre, ou au moins de la limitation des oscillations verticales du bateau, au repos et en marche, restait à résoudre.

C'était vers ce but que de nouveaux efforts devaient être dirigés, en améliorant le fonctionnement des organes destinés à régler la profondeur d'immersion. On ne pouvait guère rendre l'action des gouvernails plus efficace qu'en augmentant la vitesse du bâtiment, c'est-à-dire au prix de grandes dépenses, d'une reconstruction presque totale. Mais il y avait lieu d'espérer qu'on atteindrait le but simplement en appliquant la pression de l'air à la manœuvre du piston du régulateur au lieu de la force insuffisante des hommes.

Telles étaient en substance les conclusions du rapport adressé au ministre de la marine, à la suite des expériences dont il vient d'être rendu compte, par MM. Bourgois et Brun, appelés à servir, le premier sur l'escadre d'évolutions et le second au port de Toulon. M. le sous-ingénieur Lebelin de Dionne, du port de Rochefort, qui avait suivi les essais du *Plongeur*, fut appelé à les continuer dans un des bassins du port et dans la direction ci-dessus indiquée.

Voici quelques extraits de son intéressant rapport sur les expériences qu'il a ainsi exécutées, et d'abord la description du nouvel appareil régulateur de l'immersion.

« Il était disposé de la manière suivante (sur la partie supérieure du bateau) : un double cylindre en bronze avait à sa partie milieu une collerette faisant joint sur l'enveloppe du bateau; au-dessus de cette collerette le cylindre avait $0^m,57$ de diamètre, au-dessous le diamètre était de $0^m,30$. Deux pistons reliés par une seule tige et



entre lesquels l'air comprimé était distribué par un tiroir manœuvré à bras, montaient ou descendaient avec une course de 0m,60.

« L'effort ascensionnel sur le grand piston était par conséquent diminué de toute la pression sur le petit. Le cylindre supérieur débouchait à l'extérieur. Il pouvait, selon que le piston descendait ou montait, se remplir ou se vider, et des précautions avaient été prises pour éviter la réaction de l'eau s'échappant verticalement. On comprendra pourquoi j'ai diminué la force propulsive du piston. Il fallait chasser le plus d'eau possible avec une course assez réduite, et d'autre part, on devait prévoir le cas où la pression étant de 12 atmosphères dans les réservoirs, on aurait opéré sous une faible colonne d'eau. Le grand piston, s'il avait été seul, se serait en pareil cas soulevé avec une vitesse considérable qui aurait probablement entraîné de sérieux accidents. En somme, le cylindre tel qu'il est installé, peut encore fonctionner à une profondeur de 10 mètres et avec une pression de 3 atmosphères dans les réservoirs. Le volume d'eau qu'il admet ou qu'il expulse est de 153lit.,12. Le tiroir se manœuvre très facilement et les mouvements d'ascension ou de descente du piston s'effectuent en quelques secondes.

« D'autre part, j'avais pensé qu'un effort continu et d'intensité variable devait mieux atteindre le but proposé que celui qu'on obtiendrait d'un appareil à action intermittente. C'est cette vue qui m'a conduit à établir dans la partie centrale du *Plongeur* une hélice à axe vertical dont les ailes étaient suffisamment élevées au-dessus du dôme longitudinal qui surmonte le *Plongeur*. Cette hélice avait 0m,90 de diamètre, 1m,50 de pas et 0m,25 de fraction de pas. Elle se manœuvrait à bras de l'intérieur du bateau..... »

Quoique la construction du cylindre régulateur et des autres accessoires eût été conduite très lentement, tout était prêt à fonctionner dès le mois de septembre 1864; mais le bassin n'était pas disponible et ce ne fut qu'en mai 1865 que le *Plongeur* fut échoué et mis en mesure d'entreprendre de nouveaux essais.

Le 2 juillet les réservoirs à air furent chargés à 6 atmosphères, et le jour suivant le bâtiment, manœuvré par le personnel que le major de la flotte avait mis à notre disposition, exécuta une première immersion. L'eau contenue dans le bassin avait 6m,10 de profondeur. Les appareils complémentaires furent mis en jeu dès que le *Plongeur* eût atteint le fond. On voulait d'abord le rapprocher de la surface

avant de chercher à le maintenir en équilibre. Un mouvement ascensionnel d'un mètre environ fut obtenu par l'hélice seule, puis le bateau retomba et ni l'hélice, ni le cylindre, ni les deux appareils agissant simultanément ne parvinrent à le détacher de son point d'échouage. L'ordre ayant été donné de fermer toute issue à l'eau des réservoirs, longtemps avant la fin de l'immersion, ce fait paraissait inexplicable. Il le devint encore davantage lorsqu'on reconnut que le petit cheval, après deux ou trois minutes de fonctionnement, ne parvenait pas à ramener le *Plongeur* à la surface; une inspection minutieuse des divers robinets qui donnent accès dans les réservoirs fit encore connaître que l'un d'eux, dont la manœuvre était cependant confiée à un quartier-maître, était resté ouvert et avait introduit dans le bâtiment un excès d'eau considérable. Il était indispensable de faire une extraction considérable pour remonter et comme, en pareil cas, le temps nécessaire pour recommencer l'immersion dans de bonnes conditions de lancement est fort long, l'expérience fut renvoyée à un jour suivant.

Un second essai eut lieu le 10 juillet. C'était le jour de la plus haute marée de la période mensuelle. Il y avait $6^{m},95$ d'eau dans le bassin.

A l'instant où le dernier trou d'homme, par lequel le personnel nécessaire à l'essai s'était introduit, fut clos, le bateau était exactement horizontal. On admit simultanément de l'eau, mais avec une extrême lenteur, dans les réservoirs de l'avant et de l'arrière. Tour à tour l'un des robinets d'immersion était fermé afin de conserver l'horizontalité de l'assiette du bâtiment.

Un observateur placé sur le bord du bassin contrôlait, à l'aide de règles graduées, fixées sur le *Plongeur*, les résultats constatés à l'intérieur. Ce sont ces observations combinées et corrigées par les autres que je vais exposer.

Période d'immersion. — A $9^{h},25^{m}$ toute l'enveloppe du bateau est couverte, l'avant est sous l'eau de $0^{m},75$, et l'arrière de $0^{m},35$.

A $9^{h}\,26^{m}$ légère émersion de l'avant et immersion de l'arrière. L'horizontalité se rétablit. Les oscillations, de l'avant à l'arrière, d'environ $0^{m},30$ d'amplitude, se produisent et amènent le niveau jusque dans le voisinage des regards inférieurs de l'observatoire.

A $9^{h}\,32^{m}$ l'eau arrive à 6 centimètres au dessous de la crête de

l'accompagnement du canot de sauvetage, lequel est entièrement couvert quelques secondes plus tard. Les robinets de prise d'eau sont alors fermés partout. Quelques oscillations de $0^m,10$ à $0^m,15$ ont lieu.

A $9^h\,33^m$ l'équilibre s'établit et le bateau est horizontal. L'immersion est totale à l'exception de celle de l'observatoire.

A $9^h\,33^m\,15^s$ on ouvre le robinet qui donne accès à l'eau extérieure dans la caisse jaugée[1]. L'arrière s'enfonce sensiblement plus vite que l'avant. A $9^h\,34^m$ le sommet de l'observatoire entre dans l'eau. Dès qu'il est recouvert, la descente de l'avant s'accélère à son tour et l'horizontalité se rétablit. L'enfoncement continue sans différence appréciable.

Lorsque le bateau est arrivé à 2 mètres de profondeur, une nouvelle oscillation de $0^m,75$ sur l'arrière se produit. L'avant plonge ensuite et touche le premier au fond du bassin, à $9^h\,36^m$. L'arrière touche presque immédiatement après. Il y avait alors $3^m,55$ d'eau au-dessus de l'enveloppe supérieure du bateau et $2^m,20$ au-dessus du sommet de l'observatoire.

Période de l'action de l'hélice. — Dès que l'on fut certain que le bâtiment était échoué sur les tins du bassin, l'hélice fut mise en mouvement ; elle faisait environ 30 tours par minute. Pendant 15 secondes l'immobilité fut complète. A $9^h\,37^m$ l'arrière commença à se relever, 5 secondes après l'avant se détacha des tins. Le mouvement de soulèvement complet n'éleva le bateau qu'à 60 centimètres au-dessus des tins et il resta stationnaire pendant 45 secondes. A $9^h\,38^m$ l'avant redescendait et il touchait son point d'échouage à $8^h\,38^m\,20^s$.

Des efforts plus énergiques des hommes qui manœuvraient l'hélice parviennent à relever l'avant et à rétablir de nouveau l'horizontalité entre deux eaux. A $9^h\,35^m\,45^s$ l'avant est échoué derechef et l'arrière seul est soulagé par l'action de l'hélice ; la différence moyenne est de $0^m,50$ avec des oscillations de quelques centimètres. L'hélice

[1] On avait fait placer dans la coursive centrale du *Plongeur* une caisse jaugée et ouverte dont la capacité était égale au volume extérieur de l'observatoire. En immergeant le bateau jusqu'à l'observatoire exclusivement, à l'aide des réservoirs ordinaires, et en achevant le plein par l'introduction de l'eau dans la caisse, on avait la certitude de ne dépasser que d'un très petit nombre de litres la quantité d'eau exactement requise.

est arrêtée et immédiatement le bateau s'échoue sur toute la longueur de sa quille.

Ainsi l'hélice après avoir déterminé un mouvement ascensionnel nettement accusé, avait fini, lorsque les hommes qui la menaient s'étaient fatigués, par ne plus produire qu'un pivotement autour du brion, et dans chacun des cas, l'équilibre s'était momentanément établi. On avait acquis, par ce court essai, toute la mesure de ce que cette installation pouvait donner.

Période d'action du cylindre régulateur. — A $9^h 41^m$ le piston du cylindre régulateur est soulevé et maintenu aux deux tiers de sa course ascendante. Le bateau remonte en commençant par l'arrière. Sa vitesse d'ascension diminue. L'avant se redresse et la différence tend à devenir nulle. Le bateau reste sensiblement immobile et sans différence pendant quelques secondes. Il y avait alors une tranche d'eau d'environ 1 mètre au-dessus de l'observatoire.

Le piston régulateur est alors envoyé à bout de course. Le mouvement ascensionnel recommence et le sommet de l'observatoire affleure à $9^h 43^m 40^s$. Il émerge même jusqu'à découvrir les regards supérieurs de l'observatoire, c'est-à-dire d'environ 35 centimètres.

A $9^h 44^m 35^s$ le piston régulateur est abaissé ; l'observatoire immerge ; ii se relève ensuite jusqu'à faire affleurer l'accompagnement supérieur. Les oscillations verticales se prolongent pendant plus d'une minute. A $9^h 45^m 50^s$ les oscillations s'éteignent et font place à un mouvement de descente caractérisé. Le bateau touche horizontalement et se relève assez vivement. De nouvelles oscillations se produisent dans le voisinage du fond. On les arrête en faisant remonter le piston de toute sa course. Le bâtiment s'élève et reparaît encore à la surface à $9^h 50^m 45^s$. On le maintient dans cette situation, c'est-à-dire avec quelques centimètres de l'observatoire hors de l'eau, jusqu'à $9^h 56^m 40^s$. Le piston est alors abaissé à mi-course et le bateau s'immerge de $1^m,20$ en descendant horizontalement. La descente continuerait si le piston n'était relevé immédiatement. A $9^h 57^m 15^s$ l'observatoire reparaît de nouveau. Le bateau est sans différence. Le piston est abaissé et le bâtiment redescend, l'arrière le premier.

A $9^h 58^m 15^s$ le régulateur fonctionne de nouveau pour produire un mouvement ascensionnel. Il y a encore plus d'un mètre d'eau

sous la quille. Malgré la position du piston remonté à bout de course, la différence sur l'avant se maintient et la descente continue.

A $10^h\,0^m\,15^s$ l'arrière touche, puis reprend un léger mouvement ascensionnel ; la quille redevient horizontale après une série d'oscillations de 20 à 30 centimètres d'amplitude qui durent à peu près une minute.

Lorsque le bateau devint stationnaire il fut constaté que le cylindre régulateur avait cessé d'être efficace, puisque le plongeur restait échoué, bien que le piston fût maintenu au haut de la course. A $10^h\,2^m\,15^s$ on voulut venir en aide au cylindre en mettant l'hélice en mouvement. Alors l'arrière remonte un peu, l'avant cesse aussi de toucher ; mais ce mouvement ne se maintient pas et à $10^h\,30^m$ le bâtiment est échoué derechef malgré l'action combinée de l'hélice et du cylindre régulateur.

Si au début de l'expérience et pendant un temps assez long les appareils avaient fonctionné aussi bien qu'on pouvait l'espérer, il doit sembler surprenant que leur action ait perdu son efficacité d'une manière si subite. Le résultat montre la distance qui sépare une solution théorique de celle que la pratique peut consacrer. Il faut se rappeler que le cylindre régulateur ne déplace qu'un volume d'eau de 153 litres ; à cette force disponible je n'ajouterai pas l'effort de l'hélice qui ne peut être évalué qu'à quelques kilogrammes. Pour mettre le bateau en mouvement il faut donc qu'on ait réussi, au moment de l'immersion, à lui donner un poids égal à celui de l'eau qu'il déplace, à moins de 153 kilogrammes près ; et même il faut se tenir un peu en dessous de cette limite. C'est à ce résultat que nous étions arrivé, puisque le cylindre régulateur a ramené le bateau à plusieurs reprises, dans le voisinage de la surface ; mais les personnes qui ont expérimenté le *Plongeur* savent que, malgré tout le soin qu'on a apporté à l'occlusion des ouvertures, il y a des suintements et des petites voies d'eau inévitables par les trous d'homme, par les soupapes d'évacuation de l'air vicié, par le grand joint du canot de sauvetage, etc. Nous avions ces voies d'eau ni plus ni moins fortes que lors des premières expériences. Peu à peu elles ont amené dans l'intérieur du bâtiment une quantité d'eau suffisante pour balancer la faible puissance de nos appareils qui ont perdu graduellement leur efficacité et qui, finalement, ont été complètement paralysés.

Je conclus, dit M. Lebelin de Dionne en terminant son intéressant rapport, que l'équilibre du *Plongeur* au-dessus du fond a été obtenu ; que cette question peut être considérée comme résolue théoriquequement, mais qu'elle ne l'est point pratiquement. J'ajoute même qu'un cylindre régulateur d'un diamètre double de celui que j'ai installé en supposant qu'on parvienne à le placer sur le *Plongeur*, ce qui me paraît presque impossible. un cylindre d'un diamètre double, dis-je, ne me semblerait pas présenter assez de garanties pour permettre d'entreprendre une immersion prolongée et par de grands fonds.

Les expériences n'ont pas été continuées. Il est à remarquer que si on les avait prolongées, dans le but d'obtenir plus longtemps et plus régulièrement l'équilibre cherché au repos, soit au moyen du régulateur à air comprimé au lieu de la force musculaire des hommes, le succès même de ces recherches aurait nui à la solution finale du problème à résoudre, en introduisant une cause de dépense d'air qui aurait notablement réduit la durée déjà un peu courte du fonctionnement de l'appareil. Dans cet ordre d'idées et dans les conditions particulières de construction du *Plongeur*, il fallait renoncer à un résultat pratique. Fallait-il chercher à obtenir en marche l'équilibre ou au moins la limitation des oscillations au moyen de l'action des gouvernails ? On pouvait certainement faciliter leur manœuvre en les comdensant, c'est-à-dire en leur donnant sur l'avant de leur axe de rotation une certaine surface dont l'effet compensât celui de la surface postérieure, de façon à réduire beaucoup l'effort nécessaire pour la faire tourner. Cette modification aurait rendu plus prompte la manœuvre des gouvernails horizontaux, mais n'aurait pas ajouté à leur énergie qui, pour une même surface, dépendait surtout de la vitesse. Dans les conditions actuelles, la vitesse se réduisait quelquefois à un point tel que l'action des gouvernails horizontaux devenait insignifiante.

On pouvait certainement comprendre la création d'un autre type du même engin dans lequel, profitant des résultats acquis, réduisant les dimensions de la coque et des réservoirs, on aurait augmenté, au contraire, la pression de l'air et obtenu ainsi des vitesses plus rapides et une plus longue durée d'approvisionnement de force motrice. Mais ce résultat n'était plus à espérer avec la coque du *Plongeur* telle qu'elle avait été conçue et exécutée. Peu d'années après la ces-

sation des expériences de ce bateau sous-marin, un mécanicien-constructeur anglais, établi à Fiume, en Croatie, adoptait le même système de locomotion par l'air comprimé, l'appliquait à une coque réduite au point de n'être plus un bâtiment manœuvré à l'intérieur par une douzaine d'hommes d'équipage, mais de constituer avec une torpille placée à sa partie antérieure, un engin de guerre formidable. Portant la pression de l'air dans ses petits réservoirs à 60 atmosphères et réduisant à quelques encâblures la durée du parcours de l'engin, projeté d'un bâtiment ou d'un canot par l'air comprimé, M. Whitehead obtenait des vitesses considérables de 20 à 24 nœuds et il trouvait dans la combinaison de cette vitesse, avec l'emploi de gouvernails horizontaux, la solution du problème de l'équilibre entre deux eaux, ou au moins de la limitation des oscillations verticales de l'engin, vainement cherchée par le *Plongeur* avec des vitesses moyennes de 4 nœuds.

Comme l'avait proposé M. Courbebaisse, M. Whitehead faisait agir la pression extérieure du liquide sur un diaphragme flexible qui transmettait son effort à la barre du gouvernail horizontal pour faire remonter l'engin lorsqu'une certaine limite inférieure de profondeur était atteinte, pour le faire descendre au contraire lorsqu'il était arrivé à la limite supérieure de ses oscillations. Si nous rappelons ces circonstances, c'est pour rester fidèle à la vérité et non pour diminuer le mérite incontesté de M. Whitehead qui peut avoir ignoré les expériences du *Plongeur* et la proposition de M. Courbebaisse et qui, d'ailleurs, a dépensé une grande somme d'intelligence et d'habileté pratique pour donner à son engin la perfection qu'il a acquise aujourd'hui. En pareille matière, le mérite des conceptions, même les plus ingénieuses, s'efface devant leur réalisation.

Entre la torpille Whitehead, à organe automatique, qui déplace seulement quelques tonneaux et le *Plongeur* qui en déplace plus de 450, et qui était manœuvré par un équipage à l'intérieur, il y a place pour une grande variété d'engins et de bateaux sous-marins. Comme nous l'avons dit déjà, on pourrait certainement dans une construction plus petite que cette dernière et en employant des pressions d'air plus fortes, améliorer les résultats obtenus sur ce bateau ; mais il semble que l'électricité dont les applications se sont multipliées et ont fait de si remarquables progrès dans ces derniers temps, pourrait fournir aujourd'hui, pour résoudre complètement le problème,

un instrument qui manquait en 1858. C'est de ce côté que plusieurs inventeurs, parmi lesquels M. Nordenfelt, tournent aujourd'hui leurs efforts, et les journaux ont parlé des essais d'un petit bateau sous marin construit par cet ingénieur suédois et qui serait mu par une machine électrique.

D'autre part, la locomotion des ballons a fait naître exactement les mêmes besoins que celle des bateaux sous-marins. Dans les deux cas les machines à feu offrent des difficultés et des dangers qui obligent à y renoncer; mais on se contente d'un approvisionnement d'assez courte durée. Il y a donc lieu de penser que les mêmes genres de machines pourront fournir la solution de l'un et de l'autre problème.

Cette solution, en ce qui regarde la navigation sous-marine, serait-elle avantageuse à la France ? Tout donne lieu de le penser. Aussi longtemps du moins que la durée d'action de ces engins sera limitée à quelques heures, car ils ne pourront guère être utilisés que contre un ennemi maître de la mer qui voudrait insulter nos ports. Cette considération justifie la publication qui a été faite des expériences du *Plongeur*. Elle est de nature à conseiller la continuation des essais de navigation sous-marine avec les ressources nouvelles que peuvent fournir les progrès actuels de la science. En tout as,c il paraît bon de rappeler, à une époque où l'attention se porte sur les engins de guerre maritime, que deux faits sont acquis par les expériences du *Plongeur :* 1° la facilité de diriger à fleur d'eau un bateau submergé, ne laissant à découvert que le sommet d'un observatoire ; 2° la facilité de faire marcher le même bateau sur un fond régulier de vase ou de sable, par une profondeur ne dépassant pas beaucoup 10 mètres. Certaines rades étrangères remplissent ces dernières conditions.

Paris. — Imprimerie L. Baudoin et Cᵉ, 2, rue Christine.

PARIS. — IMPRIMERIE L. BAUDOIN ET Ce, 2, RUE CHRISTINE.


War 5308.87
De la navigation sous-marine appliq
Widener Library 004615620
3 2044 080 708 290